



PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA A ESCALA URBANA

Clementina Gómez Chereguini

Trabajo de Final de Máster

Directora: Anna Pagès Ramon

Máster Universitario en Intervención sostenible en el medio construido, MISMeC

Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès – Universitat Politècnica de
Catalunya

Septiembre 2020

Resumen

Este documento pretende presentar una solución para que las ciudades puedan empezar a dar los pasos necesarios para reducir las emisiones de carbono.

El sector de la edificación ejerce un impacto medioambiental determinante. Por esto es urgente que se intervenga en este ámbito para que se puedan explotar a nivel fotovoltaico los edificios reduciendo así las emisiones del consumo de las viviendas.

Este trabajo se encuadra en el marco de la situación actual, con el fin de promover acciones de mejora energética en el contexto de las ciudades.

En la primera parte del proyecto se pone en contexto la situación climática de la Tierra y se plantea la idea de la energía fotovoltaica integrada en la arquitectura de los edificios a escala urbana. Se definen los elementos que componen una instalación fotovoltaica y los factores que afectarán a la toma de decisiones durante todo el trabajo (Energía embebida y Tasa de Retorno Energético). Se establecen los elementos que se utilizarán en este trabajo. Finalmente se expone, en la metodología, los pasos que se seguirán a la hora de realizar los cálculos.

A continuación, se establecen los casos que se estudiarán y sus características (superficie, número de viviendas...)

En la segunda parte se simula la incidencia solar en los barrios y se dimensionan las instalaciones fotovoltaicas que aprovecharían el máximo potencial de los conjuntos urbanos teniendo en cuenta las superficies que saldrían más rentables.

Posteriormente se comparan los casos y se analizan diferentes factores para saber cuál sería el más rentable. Se compara tanto la rentabilidad energética como la rentabilidad económica.

En las conclusiones se exponen las ideas principales extraídas del trabajo y las líneas futuras que se deberían seguir de aquí en adelante.

Agradecimientos

Aprovecharé este espacio para agradecer a mis padres y mis hermanos el soporte fundamental que han sido para mí.

A Anna Pagès la dedicación y paciencia que ha tenido incluso bajo las circunstancias en las que nos hemos visto obligadas a trabajar, por ser la columna vertebral de mi trabajo.

A Benoit Beckers por su colaboración a la hora de garantizarme acceso a su aplicación: Heliodon 2.

A mis compañeros por el apoyo moral durante todo el proceso.

Índice

Resumen.....	2
Agradecimientos	3
1. Introducción	10
1.1 Motivación	11
1.2 Hipótesis.....	12
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo general del trabajo	12
1.3.2 Objetivos específicos del trabajo	12
2. Contexto.....	13
2.1 Cambio climático y objetivos de reducción.....	14
2.2 El papel de los edificios – Urbanzeb.....	15
2.3 Instalaciones fotovoltaicas en edificación.....	17
2.3.1 Qué es una instalación fotovoltaica	17
2.3.2 Tipos de paneles.....	17
2.3.3 Inversor	18
2.3.4 La integración fotovoltaica en edificios.....	19
2.3.5 Barrios con integración fotovoltaica	20
2.3.6 Edificios con integración fotovoltaica	21
2.4 Energía embebida en los proyectos fotovoltaicos	22
2.5 Tasa de Retorno Energético para las superficies fotovoltaicas.....	22
3. Metodología	24
3.1 Elección de los casos	25
3.2 Radiación incidente	25
3.2.1 Modelado	25
3.2.2 Cálculo	25
3.3 Instalación fotovoltaica	26
3.3.1 Paneles fotovoltaicos	26
3.3.2 Inversores	27
3.3.3 Estructura	28
3.3.4 Cálculo paneles e inversores	28
3.3.5 Energía embebida.....	29
3.4 Tasa de Retorno Energético y cribado	29
3.5 Resultados	30

3.6	Consideraciones	30
4	Casos de estudio.....	32
4.1	Can Ros.....	33
4.2	Isla Eficiente de l'Eixample	36
4.3	Conjunto unifamiliar Sant Quirze	38
5	Cálculo	40
5.1	Can Ros.....	41
5.1.1	Modelado	41
5.1.2	Radiación incidente	42
5.1.3	Cálculo paneles e inversores	42
5.1.4	Energía embebida y Tasa de Retorno Energético	43
5.1.5	Resultados	46
5.2	Isla Eficiente de l'Eixample	48
5.2.1	Modelado	48
5.2.2	Radiación incidente	49
5.2.3	Cálculo paneles e inversores	49
5.2.4	Energía embebida y Tasa de Retorno Energético	51
5.2.5	Resultados	53
5.3	Conjunto unifamiliar Sant Quirze	55
5.3.1	Modelado	55
5.3.2	Radiación incidente	56
5.3.3	Cálculo paneles e inversores	56
5.3.4	Energía embebida y Tasa de Retorno Energético	59
5.3.5	Resultados	61
6	Síntesis de los resultados y comparación.....	63
6.1	Análisis comparativo	64
6.1.1	Producción.....	64
6.1.2	Consumo.....	67
6.1.3	Producción vs Consumo	68
6.1.4	Balance de las emisiones.....	70
6.1.5	Análisis económico	71
7	Conclusiones.....	74
7.1	Conclusiones generales.....	75
7.2	Líneas futuras de investigación	76
8	Bibliografía	77

Índice de figuras

Figura 1. Bases de Urbanzeb. Fuente: Urbanzeb.com	16
Figura 2. Barrio de Beddington. Fuente: energías-renovables.com	20
Figura 3. Barrio de Vauban. Fuente: tecvolucion.com	21
Figura 4. Tienda de Balenciaga en Miami. Fuente: arquitecturaydiseño.es	21
Figura 5. Twin City Tower en Bratislava. Fuente: onyxsolar.com	22
Figura 6. Panel opaco seleccionado. Fuente: sfe-solar.com	26
Figura 7. Panel semitransparente seleccionado. Fuente: sfe-solar.com	27
Figura 8. Inversor seleccionado. Fuente: autosolar.es.....	27
Figura 9. Detalle de una simulación en Heliodon. Fuente: elaboración propia	31
Figura 10. Barrio de Can Ros. Fuente: Google Earth	33
Figura 11. Zona de Can Ros estudiada. Fuente: Google Earth	33
Figura 12. Tipologías de Can Ros. Fuente: elaboración propia	34
Figura 13. Barrio de l'Eixample. Fuente: Google Earth	36
Figura 14. Isla de l'Eixample estudiada. Fuente: Google Earth	36
Figura 15. Tipologías Eixample. Fuente: Elaboración propia	37
Figura 16. Municipio de Sant Quirze. Fuente: Google Earth	38
Figura 17. Barrio de Sant Quirze estudiado. Fuente: Google Earth	38
Figura 18. Tipologías Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia	39
Figura 19. Mallado Can Ros. Fuente: Elaboración propia en Heliodon.....	41
Figura 20. Radiación en Heliodon. Fuente: Elaboración propia en Heliodon	41
Figura 21. Gráfica de la radiación sobre Can Ros. Fuente: Elaboración propia	42
Figura 22. Gráfica de la producción en Can Ros. Fuente: Elaboración propia	45
Figura 23. Gráfica de resumen por orientación. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 24. Gráfica de la media anual por orientación. Fuente: Elaboración propia	47
Figura 25. Mallado de l'Eixample. Fuente: Elaboración propia en Heliodon	48
Figura 26. Radiación sobre l'Eixample. Fuente: Elaboración propia en Heliodon	48
Figura 27. Gráfica de la radiación sobre l'Eixample. Fuente: Elaboración propia.....	49
Figura 28. Gráfica de la producción de l'Eixample. Fuente: Elaboración propia	53
Figura 29. Gráfica de resumen por orientación. Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 30. Gráfica de media anual por orientación. Fuente: Elaboración propia	54

Figura 31. Mallado Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia en Heliodon.....	55
Figura 32. Radiación sobre Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia en Heliodon	55
Figura 33. Gráfica de radiación sobre Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia	56
Figura 34. Gráfica de producción de Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia	61
Figura 35. Gráfica de resumen por orientación. Fuente: Elaboración propia.....	61
Figura 36. Gráfica de media anual por orientación. Fuente: Elaboración propia	62
Figura 37. Gráfica producción energética con diferentes TREs. Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 38. Gráfica reducción de superficies con diferentes TREs. Fuente: Elaboración propia..	65
Figura 39. Gráfica de reducción en porcentajes. Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 40. Gráfica de consumo de los casos. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 41. Gráfica de consumo de los casos en diferente escala. Fuente: Elaboración propia ..	67
Figura 42. Gráfica consumo y producción Can Ros. Fuente: Elaboración propia	68
Figura 43. Gráfica consumo y producción Eixample. Fuente: Elaboración propia	68
Figura 44. Gráfica consumo y producción Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia	69
Figura 45. Gráfica balance emisiones de los casos. Fuente: Elaboración propia	70

Índice de tablas

Tabla 1. Paneles opacos. Fuente: Elaboración propia a partir de la OCU	18
Tabla 2. Paneles semitransparentes. Fuente: Elaboración propia.....	18
Tabla 3. Inversores. Fuente: Elaboración propia.....	19
Tabla 4. Ejemplos de TREs. Fuente Elaboración propia a partir de wikipedia.com	23
Tabla 5. Datos técnicos del panel opaco. Fuente:sfe-solar.com.....	27
Tabla 6. Datos técnicos panel semitransparente. Fuente:sfe-solar.com	27
Tabla 7. Datos técnicos del inversor. Fuente: autosolar.es	27
Tabla 8. Energía embebida de los elementos. Fuente: Banco de datos del ITeC	29
Tabla 9. Consumo Can Ros. Fuente: Elaboración propia	35
Tabla 10. Consumo l'Eixample. Fuente: Elaboración propia.....	37
Tabla 11. Consumo Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia.....	39
Tabla 12. Cálculo paneles e inversores. Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 13. Energía embebida y TRE	44
Tabla 14. Cálculo paneles e inversores. Fuente: Elaboración propia.....	51
Tabla 15. Energía embebida y TRE. Fuente: Elaboración propia	52
Tabla 16. Cálculo paneles e inversores. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 17. Energía embebida y TRE. Fuente: Elaboración propia	60
Tabla 18. Media de producción de cada caso. Fuente: Elaboración propia	64
Tabla 19. m ² construidos. Fuente: Elaboración propia a partir de sede-catastro.com	64
Tabla 20. Análisis económico Can Ros. Fuente: Elaboración propia.....	72
Tabla 21. Análisis económico Eixample. Fuente: Elaboración propia	72
Tabla 22. Análisis económico Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia.....	73

1. Introducción

1.1 Motivación

Este trabajo se basa en la idea de que la humanidad se tiene que mover en la dirección adecuada. El problema más grave que afrontamos es la sostenibilidad del planeta. La superpoblación mundial está agotando sus recursos y el cambio climático es un problema que afecta a todas las regiones del mundo.

Las ciudades en las que desarrollamos nuestras vidas son las catalizadoras del desastre climático. “De acuerdo con ONU-Habitat, las ciudades consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, abarcan menos del 2% de la superficie de la Tierra.” (1)

En los países desarrollados, los edificios son los responsables del 40% del consumo de la energía final.¹A nivel europeo este consumo representa un 27%. Esta situación se ve agravada por el hecho de que la fuente de esta energía es en gran parte los combustibles fósiles. (2)

La primera medida que se debería tomar es la de reducir el consumo por parte del usuario. Esto se puede hacer de manera activa (cambiando las costumbres sociales) o de manera física (mejorando el aislamiento de las viviendas, el acristalamiento, las carpinterías...). Sin embargo, la fuente energética seguiría siendo la misma. El segundo paso que tiene que dar la humanidad como conjunto es el de intentar cubrir este consumo con fuentes de energía renovables. Es ahí cuando entra en juego este trabajo.

En este trabajo se estudian los tejidos urbanos como conjunto para que así el consumo se consiga equilibrar a escala de barrio. La idea es que estos barrios pasen de ser consumidores a productores (gracias a la energía solar fotovoltaica) aprovechando sus planos arquitectónicos. La energía fotovoltaica ha evolucionado mucho en los últimos años y su tendencia es la de seguir progresando.

Por esta razón presento este trabajo de final de máster, con la esperanza de que sea de alguna utilidad o de que al menos remueva alguna conciencia. Hoy está en nuestras manos cambiar el futuro de la Tierra, mañana quizás no.

¹ “A review on buildings energy consumption information”- Pérez-Lombard, Ortiz, & Pout

1.2 Hipótesis

Este trabajo pretende demostrar que una gran parte de la envolvente de un tejido urbano (independientemente de su morfología o densidad) será aprovechable a nivel fotovoltaico para cubrir una gran parte de su consumo pasando así un barrio de ser consumidor a productor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general del trabajo

El objetivo de este trabajo es determinar la rentabilidad energética de varios tejidos urbanos como conjuntos aprovechando el potencial fotovoltaico de todas sus superficies.

1.3.2 Objetivos específicos del trabajo

En este trabajo se distinguen unos objetivos específicos:

- Estudiar las energías renovables en edificación.
- Determinar los casos de estudio.
- Establecer la radiación solar y determinar la producción fotovoltaica.
- Calcular la energía embebida en cada caso.
- Hacer el balance de los dos puntos anteriores mediante la Tasa de Retorno Energético.
- Analizar y comparar los resultados.

2. Contexto

2.1 Cambio climático y objetivos de reducción

Tener conciencia ecológica es entender que el ser humano es dependiente de la naturaleza y responsable de su desarrollo.

Si bien es cierto que autores como Thoreau, Kropotkin o Reclus abogaban por una vida autosuficiente y hablaban de términos como la ecología social en el siglo XIX, el primer documento oficial en el que se habla del término “desarrollo sostenible”, se desarrolla en el último tercio del siglo XX y es el Informe Brundtland de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de 1987.² Este informe tiene como objetivo llevar a cabo dos tipos de restricciones: ecológicas y morales a raíz de una preocupación principal que titulan como: un futuro amenazado

De este informe, las medidas que nos interesan para contextualizar este trabajo son las que establecen que se debe incentivar la adopción de fuentes de energía renovables y por consecuente reducir el consumo de combustibles fósiles. El artículo 59 del informe establece que “Si se quisiera conseguir que el nivel del uso de la energía de los países en desarrollo llegase a la altura del de los países industrializados hacia el año 2025, habría que multiplicar por cinco el uso mundial actual de la energía. El ecosistema de nuestro planeta no podría soportar este aumento, sobre todo si se basara en combustibles fósiles no renovables. Los riesgos de recalentamiento y una acidificación del medio ambiente a nivel mundial excluyen muy probablemente ya la duplicación del uso de la energía basada en la actual utilización mixta de fuentes primarias.” A lo largo de las 376 páginas del informe se mencionan las energías renovables alrededor de cincuenta veces.

Desde entonces las renovables han ido ganando importancia en nuestras vidas y se han posicionado como la solución al problema medioambiental del consumo energético. Entre 2004 y 2014, a nivel mundial la generación de energías renovables pasó de ser menos de un 1% del total a ser un 9,6%. (3)

Según la 69ª “Statistical Review of World Energy” elaborada por BP en el año 2020, el año pasado (2019) el consumo de energías renovables creció en un 12,2% en comparación con el crecimiento del 14,5% del año anterior. En cuanto a generación, las energías renovables suponen, hasta la fecha, un 12% de la generación de energía a nivel mundial. De estas, la

² Se establece en el informe que el desarrollo sostenible es “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

energía solar supone el 26% de la generación de energía renovable y muestra una gran evolución ya que en 2014 suponía un 14%. (4)

El informe también establece que las emisiones de CO₂ crecieron en un 0,5% del año 2018 al 2019 siendo su media para los últimos 10 años un crecimiento de un 1.1%. Se ve reflejado, sin embargo, que se están haciendo esfuerzos para favorecer e incentivar el uso de energías renovables a nivel mundial con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ a 0 en el año 2050 (Horizonte 2050). Se explica que para conseguir ese objetivo debe haber reducciones de las emisiones de tamaño similar cada año hasta dentro de 25 años y que únicamente se podrán conseguir si hay un cambio radical en nuestro comportamiento. (5)

2.2 El papel de los edificios – Urbanzeb

Según las Naciones Unidas, del total de la población mundial un 54% habita en entornos urbanos. Los datos alarmantes de cambio climático fueron los que empujaron a la Comisión Europea a crear directivas en Eficiencia Energética.(6) En 2012 se elaboró una directiva en la que se exigía a los Estados miembros que fijasen objetivos orientados a la reducción del consumo de energía en un 20% para el año 2020.(7) En 2017 entró en vigor otra directiva relativa al diseño del etiquetado de la eficiencia energética y la eficiencia de los edificios. A partir de la creación de estas directivas surgió el concepto nZEB (near Zero Energy Building).(8)

El concepto near Zero Energy Building nace de la comprensión del hecho expuesto en el apartado *1.1 Motivación* de que los edificios componen gran parte del consumo energético a nivel mundial. Un Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo (esa es su traducción al castellano) es un edificio que consume prácticamente la misma energía que produce (siendo esta siempre proveniente de fuentes renovables que deben encontrarse en el entorno del edificio).(9) Con esto se logra que, aunque el edificio siga consumiendo la misma cantidad de energía, esta no emita CO₂ a la atmósfera.

A partir del concepto de nZEB nace otro concepto, que es el que se aplica al alcance de este trabajo: UrbanZEB. UrbanZEB es “una herramienta de planificación capacitada para diagnosticar y realizar un plan de acción global para un área urbana, evaluando y representando su estado actual, definiendo objetivos ambientales en el tiempo, y generando una hoja de ruta de transición a escala urbana que precisa dónde, cuándo y qué acciones hay que implementar y qué indicadores de seguimiento hay que monitorizar.”(10)

En definitiva, es una estrategia que plantea la transición energética de un tejido urbano como conjunto y no como un edificio singular. Si bien es cierto que esta estrategia

trabaja muchas dimensiones (social, económica ...) la que se aplicará en este trabajo es la medioambiental.

UrbanZEB se centra en la rehabilitación e intervención a escala municipal para conseguir el objetivo de la descarbonización para el año 2050 (Horizonte 2050).(11)

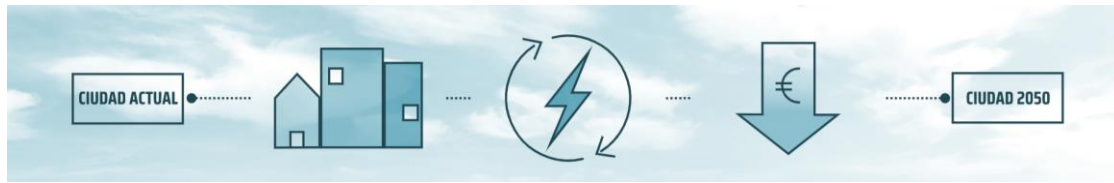


Figura 1. Bases de Urbanzeb. Fuente: Urbanzeb.com

¿Qué ventajas tiene estudiar el caso a escala urbana y no vivienda por vivienda? En este caso se debe entender el tejido como comunidad, barrio. Al estudiarlo en su conjunto, todos los núcleos familiares aúnan sus fuerzas para sacar el máximo provecho a su tejido y recibir así de manera equitativa los frutos de la intervención que se lleve a cabo.

2.3 Instalaciones fotovoltaicas en edificación

2.3.1 Qué es una instalación fotovoltaica

Una instalación fotovoltaica es un sistema compuesto por paneles solares, inversores y cableado. Los paneles solares fotovoltaicos son los dispositivos que se encargan de generar electricidad captando la radiación solar. Están compuestos por células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellas mediante el efecto fotoeléctrico. (12)

En una instalación fotovoltaica los paneles solares producen corriente continua. Sin embargo, la mayoría de los electrodomésticos de una vivienda funcionan consumiendo corriente alterna. La corriente continua es “aquella que fluye a lo largo de un circuito eléctrico siempre en un mismo sentido” mientras que la corriente alterna “cambia su sentido de circulación un determinado número de veces por segundo (en España 50 veces)”. (13) Es aquí cuando el inversor entra en juego. Este es el elemento que convierte la CC en CA para que la energía producida por el conjunto fotovoltaico se pueda utilizar en los hogares.

2.3.2 Tipos de paneles

2.3.2.1 Paneles opacos

Dado que la tecnología de paneles solares opacos es la más eficiente a día de hoy, los paneles semitransparentes se utilizan cuando es necesario³ por lo que los paneles de las cubiertas de los edificios normalmente son opacos.

La OCU (Organización de Consumidores y Usuarios) ha realizado un estudio de los mejores paneles solares del mercado. Este análisis exhaustivo tiene en cuenta aspectos como la inspección visual, la veracidad de la determinación de la potencia pico, la eficiencia, los posibles defectos, el precio etc.(14)

Modelo	Wp (Potencia pico en W)	Precio/unidad	Puntuación OCU
REC REC 280TP 2020	280	182,98€	88/100
SUNPOWER SPR-X21-345 2020	345	441,65€	87/100

³ Se considera que será necesario cuando existan huecos que tengan la necesidad de la semitransparencia de los paneles (en las fachadas).

PANASONIC VBHN325SJ47 2020	325	275,88€	86/100
LG LG400N2T-J5 2020	400	330,89€	84/100
AXITEC AXI265P 2020	265	210,00€	82/100
TRINA TSM-270PD05 2020	270	158,51€	79/100

Tabla 1. Paneles opacos. Fuente: Elaboración propia a partir de la OCU

2.3.2.2 Paneles semitransparentes

Los paneles semitransparentes son aquellos en los que la opacidad se ve reducida y gracias a ello la luz natural los puede atravesar.

Debido a que la tecnología de los paneles solares semitransparentes es muy reciente la información con respecto a ellos es limitada. Después de un proceso de investigación se han encontrado los siguientes paneles solares semitransparentes en el mercado(15):

Modelo	Wp (W)	Precio/unidad
AMERISOLAR 210 AS5M	210	167,73€
AMERISOLAR240 AS6M30	240	210,51€
AMERISOLAR 275 AS6P30	275	235,09€
ALMADEN 230 M50	230	249,00€
ALMADEN 310 B60	310	280,00€
MÓDULO FOTOVOLTAICO VIDRIO-VIDRIO 2ES	150	NS/NC

Tabla 2. Paneles semitransparentes. Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Inversor

Los criterios para escoger un inversor pueden variar. A continuación, se expondrá una tabla con una lista de los inversores más eficientes del año 2019 y sus características.

El concepto de la eficiencia en el caso de un inversor se traduce en cuanta de la energía que entra en el inversor sale por su output.

En cuanto al seguidor de punto de máxima potencia (MPPT), este es el dispositivo (incorporado en el inversor) que asegura que los paneles solares conectados al inversor están funcionando a su máxima eficiencia siempre. En este caso se necesitarán MPPTs

ya que los paneles tendrán diferente orientación y el objetivo es que en cada orientación estén funcionando en su máxima capacidad(16).

Modelo	Eficiencia	MPPT	Años de garantía	Precio
FRONIUS GALVO 2.0	96%	2	20	1113,47€
SOLAREEDGE SE2200H	99,2%	1	25	1033,30€
HUAWEI SUN 2000L-2KTL	98,4%	2	20	807,81€
SMA SUNNY BOY 3.0	97%	2	20	1089,29€

Tabla 3. Inversores. Fuente: Elaboración propia

2.3.4 La integración fotovoltaica en edificios

El término BIPV (Building Integrated PhotoVoltaics) se comenzó a utilizar a finales del siglo XX y principios del XXI para referirse a la energía solar fotovoltaica integrada en los edificios y consiste en que los módulos fotovoltaicos formen parte de la estructura y arquitectura del edificio al que están ofreciendo su servicio. Las ventajas de este sistema incluyen la reducción de gasto en materiales de construcción convencionales, así como la reducción de emisiones de CO₂ en energía embebida en la construcción e instalación.

La integración fotovoltaica en los edificios se puede hacer de dos maneras diferentes: colocando los paneles sobre la fachada existente o integrar los módulos sobre la fachada instalándolos como un material más de la solución constructiva. Esta segunda opción sale rentable cuando se aprovecha una rehabilitación. Se rentabiliza tanto a nivel económico como a nivel de emisiones de CO₂.

La mejor solución para las fachadas es la del muro cortina fotovoltaico con paneles semitransparentes ya que además de aislamiento acústico y térmico ofrece luz natural. En cuanto a las cubiertas, se incorporan los paneles fotovoltaicos a la estructura existente reduciendo así la energía embebida que conlleva instalar una estructura adicional e inclinada.

2.3.5 Barrios con integración fotovoltaica

- Beddington ZERO ENERGY DEVELOPMENT - BedZED

BedZED es un barrio respetuoso con el medio ambiente de Londres construido en el año 2000. Fue diseñado por el arquitecto Bill Dunster para tener cero emisiones de CO₂. Es un proyecto pionero ya que el terreno fue vendido por las autoridades a un precio por debajo del del mercado para promover que el desarrollo sostenible fuese económicamente viable.

El barrio está compuesto por 82 viviendas en una superficie de 1405 m². Se utilizan únicamente fuentes de energía renovable generada dentro del barrio. Todas las viviendas de este barrio se construyeron con orientación sur para poder aprovechar así la energía solar.



Figura 2. Barrio de Beddington. Fuente: energías-renovables.com

A parte de utilizar energías renovables, en este barrio se recicla el agua de lluvia, se han utilizado materiales de bajo impacto ecológico para su construcción, tienen un método efectivo de reciclaje de deshechos etc.

- Barrio solar de Schlierberg

Otro ejemplo de integración fotovoltaica es el barrio solar de Schlierberg. Schlierberg, un barrio situado en Vauban, Alemania es una comunidad de 59 viviendas diseñada por el arquitecto Rolf Disch. Este barrio en concreto tiene una característica especial: superávit de energía producida. El barrio produce, gracias a sus paneles solares, cuatro veces más energía de la que consume.



Figura 3. Barrio de Vauban. Fuente: tecvolucion.com

En estos dos casos se han aprovechado las cubiertas para las instalaciones fotovoltaicas. Pasamos a estudiar el estado del arte en cuanto a integración de la tecnología fotovoltaica en fachadas.

2.3.6 Edificios con integración fotovoltaica

Para las fachadas se estudia la instalación de una fachada tipo muro cortina con paneles fotovoltaicos semitransparentes con tal de mantener las características de las ventanas. Dos ejemplos de muro cortina fotovoltaico son los instalados por la empresa Onyx: en la tienda de Balenciaga de Miami y en la Twin City Tower de Bratislava.



Figura 4. Tienda de Balenciaga en Miami. Fuente: arquitecturaydiseño.es



Figura 5. Twin City Tower en Bratislava. Fuente: onyxsolar.com

2.4 Energía embebida en los proyectos fotovoltaicos

La energía embebida es “la energía total consumida en la construcción de un proyecto. Esta incluye la energía empleada en la fabricación de los materiales, el transporte de estos y la utilizada por la maquinaria durante la ejecución de la obra.”(17)

Esta energía se acaba asociando entonces a la huella de carbono del proyecto.

Un trabajo de la Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona⁴ calcula la energía embebida asociada al proyecto estudiado con los datos del banco BEDEC del Instituto de Tecnología de la Construcción (ITeC).

Otro trabajo, proveniente del departamento de ingeniería energética de la Universidad de Sevilla⁵ utilizó la base de datos de “Embodied Energy and Carbon of the Institute of Civil Engineers”.(18)

2.5 Tasa de Retorno Energético para las superficies fotovoltaicas

La Tasa de Retorno Energético es “el cociente de la cantidad de energía total que es capaz de producir una fuente de energía y la cantidad de energía que es necesario emplear o aportar para explotar ese recurso energético”.(19)

⁴ “Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO₂ aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética”- Claudia N. Quispe Gamboa.

⁵ “Evaluación del coste de ciclo de vida de edificios con instalaciones de autoconsumo teniendo en cuenta la energía embebida”- Cristina Vázquez Gerena.

Es decir, un coeficiente que sirve para calcular la rentabilidad energética de un proyecto comparando la energía que conlleva realizarlos con la energía que proporciona el mismo proyecto.

Por tanto, cuanto mayor sea la TRE, mejor será la fuente de energía.

$$TRE = \frac{E_{invertida} + E_{neta}}{E_{invertida}}$$

Algunos ejemplos de Tasas de Retorno Energético son los siguientes(20):

Fuente	TRE Cleveland ⁶	TRE Elliott ⁷	TRE Hore-Lacy ⁸
Combustibles fósiles	23	50-100	-
Carbón	30	2-7	7-17
Energía nuclear	5-100	5-100	10-60
Energías renovables	1,7-12	3-9	7-20

Tabla 4. Ejemplos de TREs. Fuente Elaboración propia a partir de wikipedia.com

⁶ "Science."-Cleveland et al.

⁷ "A sustainable future? The limits of renewables."-David Elliott

⁸ "Renewable energy and Nuclear power."-Ian Hore-Lacy

3. Metodología

3.1 Elección de los casos

Para poder calcular la rentabilidad energética de los tejidos lo primero que se hace es escoger tres conjuntos urbanos con características climáticas similares pero que difieren en cuanto a superficie y densidad poblacional.

3.2 Radiación incidente

3.2.1 Modelado

Una vez se han escogido los barrios a estudiar, se modela el conjunto en 3D en el software *Heliodon2*. *Heliodon2* es una herramienta desarrollada por Benoit Beckers y Luc Masset. El programa permite estudiar los trayectos solares y analizar la incidencia de la luz solar directa sobre un modelado 3D previamente realizado por el usuario. Cada superficie del modelo se transcribe como una malla regular de triángulos geométricos formados por puntos sobre los que se realizarán las mediciones. Los datos vertidos por el programa están condicionados por la consideración de que el cielo está despejado en la localización establecida. Es por esto por lo que después de hacer uso del software *Heliodon2* se pasan los datos por el programa *HeliidonPlus* que tendrá en cuenta las variaciones meteorológicas del entorno.

Para modelar los barrios se establece el nivel de detalle de las reproducciones de los entornos estudiados. En este caso el nivel de detalle será el de la categoría LoD2 (Level of Detail 2) del sistema de clasificación para los modelos digitales en 3D (Open Geospatial Consortium). El OPG define 5 niveles de detalle. En el segundo nivel se consideran los volúmenes con una desviación menor de dos por dos metros. Por razones de asoleamiento se considerarán también los balcones y los edificios de alrededor del conjunto en los casos. Una vez se ha modelado el tejido urbano en 3d se pasa a mallar las superficies fotovoltaicas potenciales en *Heliodon2* por tal de hacer la simulación.

3.2.2 Cálculo

Del programa *Heliodon* se obtiene un documento .csv con la radiación sobre cada superficie y el área de cada una de estas. Se obtiene también una descripción gráfica de estos resultados en forma de escala de colores sobre el modelo 3D.

3.3 Instalación fotovoltaica

Una vez se han obtenido los datos se pasa a calcular el potencial fotovoltaico de cada una de las fachadas. Primero se establecen los paneles que se utilizarán, luego se calcula cuántos paneles caben en cada superficie (ya que se estudia el potencial fotovoltaico máximo para cada una de ellas), seguidamente se calcula la energía proporcionada por estos paneles. El siguiente paso es el de decidir el inversor que se utilizará y cuántos se necesitarán para cada barrio. Finalmente se calcula la energía embebida para el proyecto de cada superficie.

3.3.1 Paneles fotovoltaicos

A la hora de escoger los paneles a instalar se tendrá en cuenta la existencia de los huecos en las fachadas, aunque no se vean reflejados en el modelado. Se distingue pues entre los paneles que se instalarán en las cubiertas y los paneles que se instalarán en las fachadas. Los primeros serán opacos y los segundos serán del tipo semitransparente con el objetivo de que los huecos sigan siendo de utilidad y se pueda aprovechar el recurso solar en la totalidad de la superficie de la fachada, como se ha dicho anteriormente.

- Panel de las cubiertas y medianeras

El panel opaco seleccionado para este trabajo es el PANASONIC VBHN325SJ47 2020. Se ha seleccionado este panel porque es uno de los paneles mejor puntuados por la OCU, tiene una buena potencia de pico y su precio está situado más o menos en el rango medio de los mencionados en el apartado 2.3.2.1 *Paneles opacos*. A continuación, se presentan los datos técnicos del panel.

Datos técnicos	
P _{max} (kW)	0,33
V _{max} (V)	57,60
I _{max} (A)	5,65
V _{oc} (V)	69,60
I _{cc} (A)	6,03
R _{end}	0,20
Largo (m)	1,59
Ancho (m)	1,05

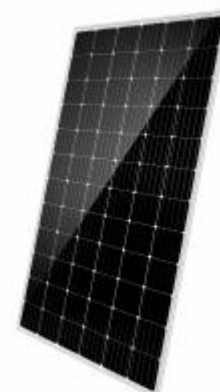


Figura 6. Panel opaco seleccionado.
Fuente: sfe-solar.com

Alto (m)	0,04
----------	------

Tabla 5. Datos técnicos del panel opaco. Fuente: sfe-solar.com

- Panel de las fachadas

El panel semitransparente utilizado en este trabajo es el ALMADEN 310 B60. Se ha escogido este panel porque tiene una potencia pico bastante elevada y el precio no se aleja del de los paneles opacos seleccionados. A continuación, se presentan los datos técnicos del panel.

Datos técnicos	
Pmax (kW)	0,31
Vmax (V)	33,48
I _{max} (A)	9,26
Voc (V)	39,97
I _{cc} (A)	9,74
Rend	0,14
Largo (m)	1,66
Ancho (m)	0,99
Alto (m)	0,01

Tabla 6. Datos técnicos panel semitransparente. Fuente: sfe-solar.com

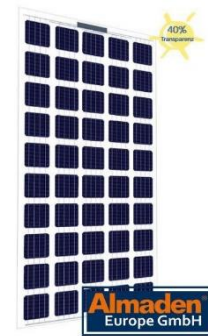


Figura 7. Panel semitransparente seleccionado. Fuente: sfe-solar.com

3.3.2 Inversores

El inversor que se va a utilizar en las instalaciones es el SUN2000L-2KTL de la marca Huawei. Se ha seleccionado este ya que tiene 2 MPPTs, buen rendimiento y precio. Sus datos técnicos se presentan en la siguiente tabla:

Datos técnicos	
Pmax kW input	3,00
Vmax V input	600

Tabla 7. Datos técnicos del inversor. Fuente: autosolar.es



Figura 8. Inversor seleccionado. Fuente: autosolar.es

3.3.3 Estructura

Se ha establecido que para las fachadas se empleará el método muro cortina. Para hacer esta instalación será necesaria una estructura. En el proceso de rehabilitación del edificio se usará la estructura de muro cortina tradicional con el único cambio que en vez de cristal convencional se utilizarán los paneles fotovoltaicos semitransparentes.

3.3.4 Cálculo paneles e inversores

Sabiendo el panel que se utilizará y el recurso solar se pasa a calcular la energía que ofrece cada panel. Para hacer esto se utilizará la siguiente fórmula:

$$E_{panel} = P_{max} * HSP * ef \quad (Ec.1.)$$

Donde:

- E_{panel} es la energía proporcionada por un panel (kWh/día)
- P_{max} es la potencia pico del panel (kW)
- HSP son las horas de pico solar incidentes sobre la superficie (h).
- E_f es la eficiencia del panel

Una vez establecido el número y tipo de paneles que se utilizará se determina el número de inversores necesarios para cada superficie. Es en este paso en el que se calculan la cantidad de paneles en paralelo y en serie que tendrán las superficies (dependientes de la capacidad del inversor) para saber así el número de inversores necesarios. Para saber el número de paneles en serie y en paralelo se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$N_{ps} = \frac{V_{max_{inv}}}{V_{max_{panel}}} = \frac{600}{57,60} = 11 \text{ paneles en serie} \quad (Ec.2.)$$

$$N_{pp} = \frac{P_{max_{inv}}}{P_{max_{panel}}} = \frac{3}{0,33} = 10 \text{ paneles en paralelo} \quad (Ec.3.)$$

Donde:

- N_{ps} es el número de paneles en serie
- N_{pp} es el número de paneles en paralelo

3.3.5 Energía embebida

Una vez se han establecido las bases físicas del proyecto se pasa a calcular la energía embebida para cada superficie con el objetivo de saber su rentabilidad energética.

El cálculo de energía embebida tendrá en cuenta los kWh utilizados y el CO₂ emitido al producir los paneles, los inversores, el transporte de material y la estructura de la instalación.

En este trabajo en cuestión se utilizará la base de datos del ITeC ya que es una base de datos local y los casos que se estudian están todos localizados en este país.

Se han seleccionado los elementos de la base de datos BEDEC que se aproximan más a los elementos seleccionados.

Elemento	kWh
Panel	573,73
Inversor	265,17
Estructura	30,37
Transporte (5t)	12,63

Tabla 8. Energía embebida de los elementos. Fuente: Banco de datos del ITeC

3.4 Tasa de Retorno Energético y cribado

Se estudian los años de equilibrio energético y la Tasa de Retorno Energético para cada fachada. Se utilizará la Tasa de Retorno Energético como criterio para hacer una criba previa a la agrupación por orientación con el objetivo de eliminar las superficies que se alejarían mucho de ser rentables energéticamente hablando. Es en este momento en el que se realizará una criba de los casos de los valores “outliers” que son aquellos que se alejan del conjunto. No se tendrán en cuenta esas fachadas para las conclusiones.

Por lo tanto, la Tasa de Retorno Energético será el factor que determinará qué superficies se toman en consideración a la hora de dimensionar el campo fotovoltaico final.

Se debe saber que la vida útil del panel opaco es de aproximadamente 25 años y la del panel semitransparente es de aproximadamente 30 años por lo que a la hora de hacer la TRE se establecerá un ciclo de vida de 27,5 años.

Para establecer el límite en el que se hace la criba se han considerado varios artículos. Muchos de ellos establecen que el coeficiente de la TRE a tener en cuenta para la tecnología fotovoltaica está entre 6 y 12, sin embargo, existe un libro⁹ que ha tenido en cuenta tres años de datos reales de campos fotovoltaicos en España que establece el valor de la TRE en 2,4. Es necesario destacar que en este caso los estudios se hacían sobre campos fotovoltaicos horizontales con la inclinación adecuada, lo cual no es el caso para la envolvente de un edificio.

Finalmente, y después de leer numerosos artículos(21)(22)(23)(24) se decide establecer el valor de la TRE de este trabajo en 5.

3.5 Resultados

Finalmente se agrupan los datos de las fachadas por orientación cartográfica con el objetivo de estudiar el caso como un conjunto. Se estudia su radiación anual, así como la producción por orientación (en kWh/m²día). Se expone también la energía embebida asociada a cada caso y los años de retorno energético

En las conclusiones se comparan los 3 casos por tal de extraer datos interesantes. Se comparan los datos con sus consumos, por viviendas, por m² construido etc.

3.6 Consideraciones

Se han tenido en cuenta una serie de consideraciones a lo largo de todo el trabajo:

- A la hora de estudiar el consumo de todos los casos, se ha considerado que están compuestos únicamente de viviendas ya que no se dispone de fuentes para saber el consumo de restaurantes, negocios, hoteles etc.
- En cuanto al estudio de la radiación realizado por el programa *Heliodon*, como se ha comentado antes, este programa tiene en cuenta la radiación incidente sobre toda la malla, es decir, toda la superficie sin distinguir entre las secciones en las que la radiación varía. Se aprecia en la siguiente imagen las diferencias de la radiación en las superficies de la fachada oeste de una manzana de l'Eixample para un día tipo del mes de diciembre. Se aprecia que la radiación en la fachada se ve obstruida por los edificios próximos a ella.

⁹ "Spain's photovoltaic Revolution. The Energy Return on Investment" - Pedro Prieto and Charles A.S. Hall.

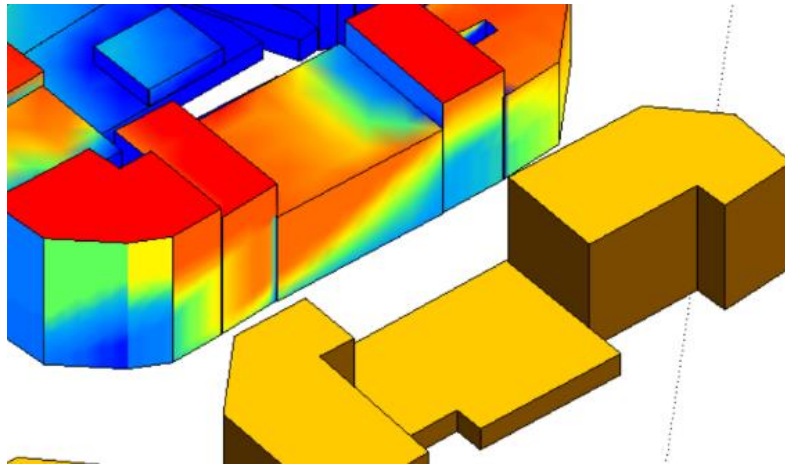


Figura 9. Detalle de una simulación en Heliodon. Fuente: elaboración propia

- Se debe tener en cuenta también que los consumos con los que se ha trabajado son los consumos antes de hacer la rehabilitación del edificio en la que se instalarían los paneles fotovoltaicos. En el caso de los consumos después de la rehabilitación estos se verían reducidos.
- A la hora de estudiar la energía embebida, la asociada a la estructura se le ha atribuido enteramente a la instalación fotovoltaica cuando podría ser atribuida también a la rehabilitación del edificio. Por tanto, los números de energía embebida para cada superficie podrían ser menores.

4 Casos de estudio

4.1 Can Ros

Can Ros es un barrio obrero de los alrededores del río Llobregat, a las afueras de Barcelona.

Construido en 1974, Can Ros es un barrio habitado hoy en día mayormente por residentes originales. Dado que los vecinos viven ahí desde el inicio, la gran mayoría son adultos. Lo habitan 889 vecinos repartidos en 349 apartamentos.



Figura 10. Barrio de Can Ros. Fuente: Google Earth

En el caso que ocupa a este trabajo se estudiará una manzana del barrio de Can Ros (compuesto por tres manzanas). En concreto, la manzana de la que forma parte el casal de gente mayor del barrio. Se trabajará entonces con una densidad ocupacional de 356 personas en 140 viviendas.

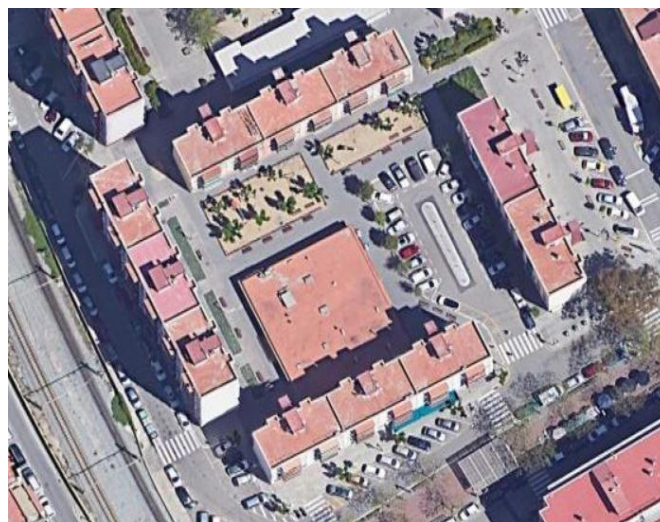


Figura 11. Zona de Can Ros estudiada. Fuente: Google Earth

Con el objetivo de comparar la densidad de este conjunto con los otros casos de estudio se establece la superficie del entorno urbano estudiado. Las superficies disponibles para las instalaciones fotovoltaicas tienen un área total de 10684,60 m² y la superficie construida de los edificios es de 9739 m².(25)

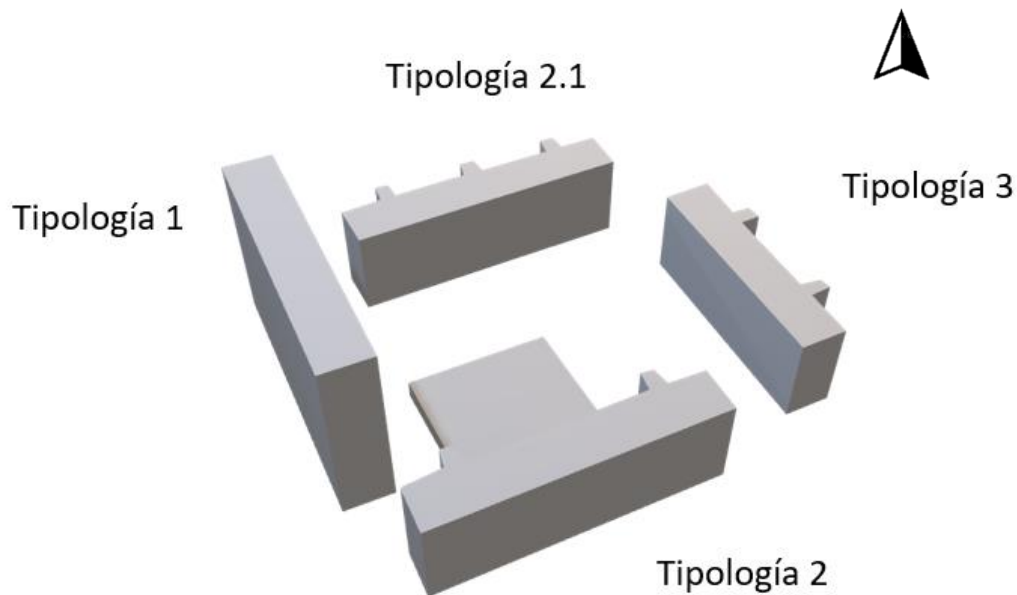


Figura 12. Tipologías de Can Ros. Fuente: elaboración propia

Con el objetivo de clarificar los cálculos se establecen 5 tipologías diferentes de edificio: Tipología 1, Tipología 2, Tipología 2.1, Tipología 3 y el Casal. Se ha decidido contar el Casal como parte del conjunto ya que es un edificio que se encuentra dentro de la zona estudiada y está gestionado por los vecinos.

El consumo de este conjunto se ha extraído del departamento de ingeniería de la energía de la Universidad Politécnica de Valencia.(26)

En este caso será como sigue:

Mes	Consumo (kWh)
Enero	49000
Febrero	49000
Marzo	45500
Abril	43400
Mayo	42700
Junio	56700

Julio	28420
Agosto	25200
Septiembre	43400
Octubre	42700
Noviembre	45500
Diciembre	56700

Tabla 9. Consumo Can Ros. Fuente: Elaboración propia

4.2 Isla Eficiente de l'Eixample

L'Eixample es un distrito de la ciudad de Barcelona de 7,46 km² diseñado por Idefonso Cerdá. Está compuesto por manzanas, o islas, a lo largo y ancho del terreno.



Figura 13. Barrio de l'Eixample. Fuente: Google Earth

La isla que se estudia en este trabajo es, en concreto, la isla eficiente. Esta isla se llama así porque formó parte de un proyecto con el mismo nombre en el que se pretendía renovar la manzana y hacerla sostenible (aumentando su ahorro energético y reduciendo sus emisiones). La isla está compuesta de 750 viviendas.



Figura 14. Isla de l'Eixample estudiada. Fuente: Google Earth

Las superficies disponibles para las instalaciones fotovoltaicas en este caso tienen un área total de 35530,9 m² y la superficie construida de los edificios es de 64624 m².(25)

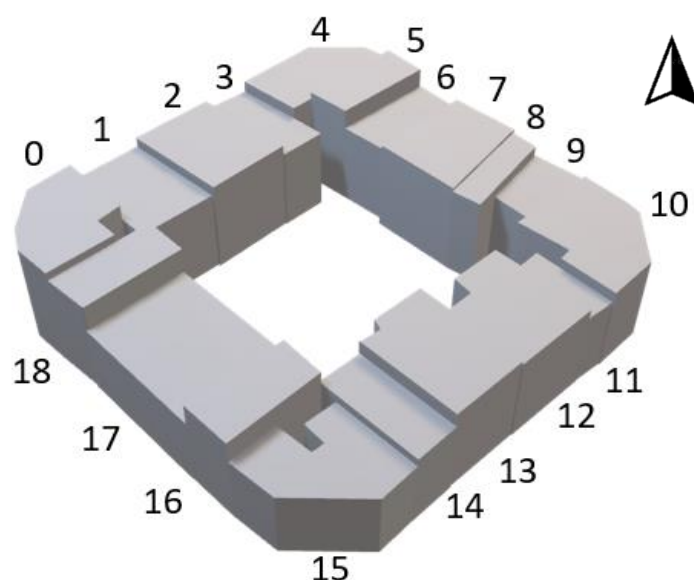


Figura 15. Tipologías Eixample. Fuente: Elaboración propia

En este caso se han numerado los edificios con tal de clarificar los cálculos de este trabajo.

El consumo para la Isla de l'Eixample mes a mes es el siguiente(26):

Mes	Consumo (kWh)
Enero	262500
Febrero	262500
Marzo	243750
Abril	232500
Mayo	228750
Junio	303750
Julio	152250
Agosto	135000
Septiembre	232500
Octubre	228750
Noviembre	243750
Diciembre	303750

Tabla 10. Consumo l'Eixample. Fuente: Elaboración propia

4.3 Conjunto unifamiliar Sant Quirze

El municipio de Sant Quirze es conocido por sus barrios de viviendas unifamiliares y forma parte del Área Metropolitana de Barcelona y es por esto por lo que se ha escogido este municipio para estudiar el caso de viviendas unifamiliares.



Figura 16. Municipio de Sant Quirze. Fuente: Google Earth

En este trabajo se ha decidido estudiar una fracción del barrio compuesta por 27 viviendas. Se ha escogido esta zona porque no tiene demasiados retranqueos en comparación con las viviendas vecinas.



Figura 17. Barrio de Sant Quirze estudiado. Fuente: Google Earth

Las superficies disponibles para las instalaciones fotovoltaicas en este caso tienen un área total de 5998,40 m² y la superficie construida de los edificios es de 4273 m².(25)

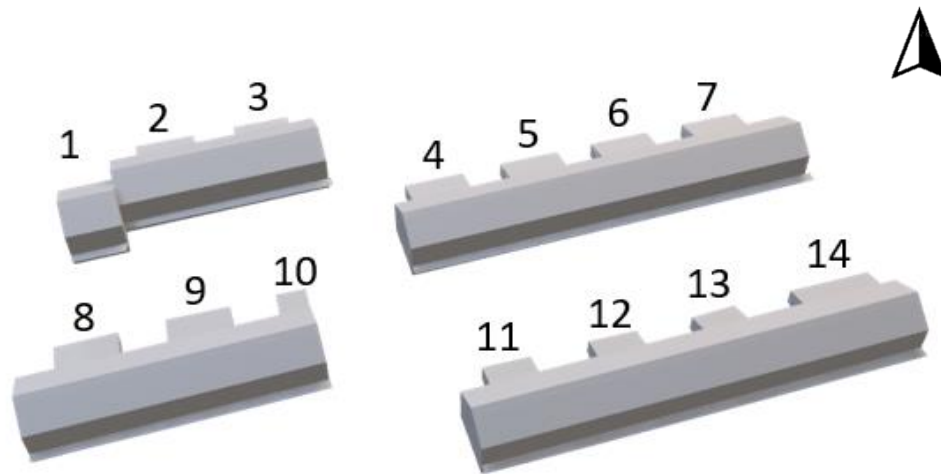


Figura 18. Tipologías Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia

Se han numerado las viviendas con el objetivo de que los cálculos sean más fáciles de entender.

El consumo en este caso (viviendas unifamiliares) se ha extraído de un informe de la empresa Seingenia.(27)

Mes	Consumo (kWh)
Enero	21600
Febrero	15930
Marzo	15660
Abril	15930
Mayo	16065
Junio	16065
Julio	16281
Agosto	21600
Septiembre	18900
Octubre	13770
Noviembre	18900
Diciembre	13500

Tabla 11. Consumo Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia

5 Cálculo

5.1 Can Ros

5.1.1 Modelado

Una vez se han establecido los límites del estudio se pasa a modelar el entorno en el programa *Heliodon2*. Se ha modelado la manzana a estudiar y los elementos que influirían en su asoleamiento (balcones y edificios cercanos). En las imágenes que se ven a continuación se aprecian las superficies estudiadas (malladas) y los elementos obstruidores (en amarillo en el modelo a color).

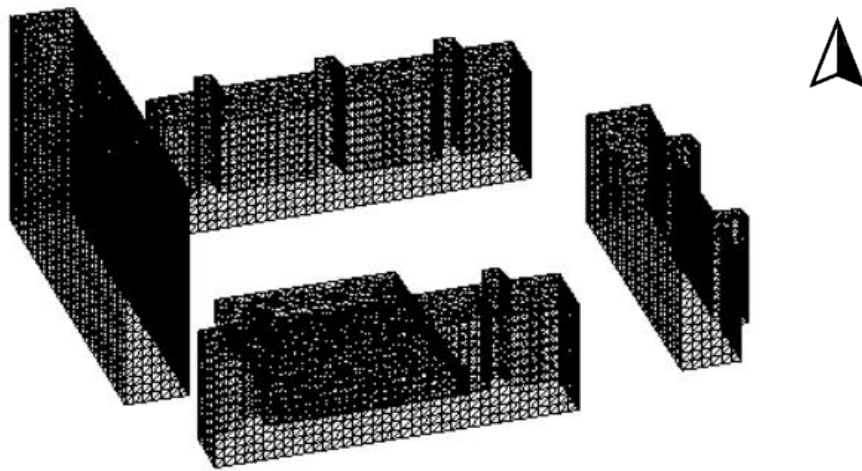


Figura 19. Mallado Can Ros. Fuente: Elaboración propia en Heliodon

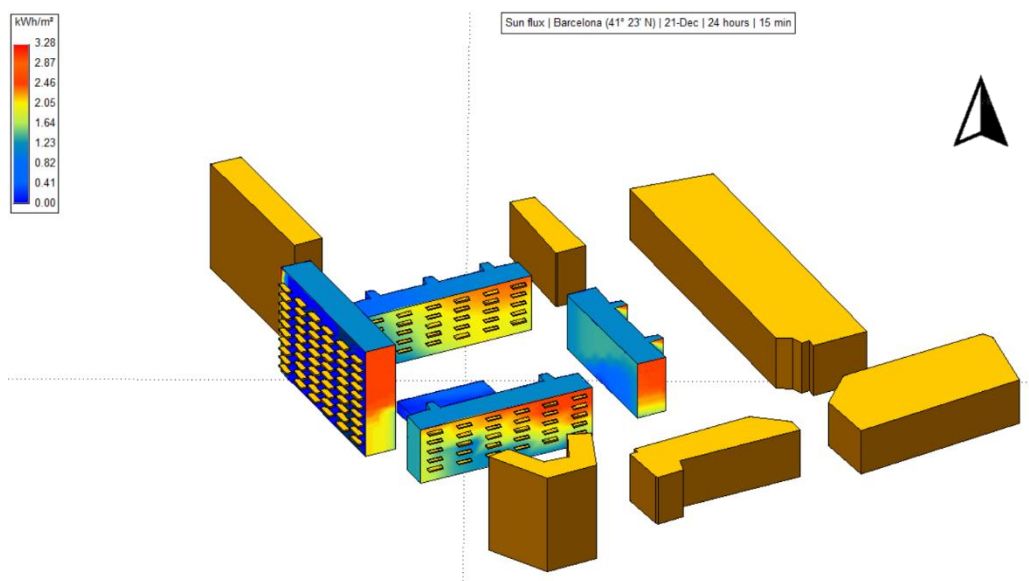


Figura 20. Radiación en Heliodon. Fuente: Elaboración propia en Heliodon

5.1.2 Radiación incidente

En la Figura 21 se aprecian los datos de recurso solar proporcionados por Heliodon (media anual).

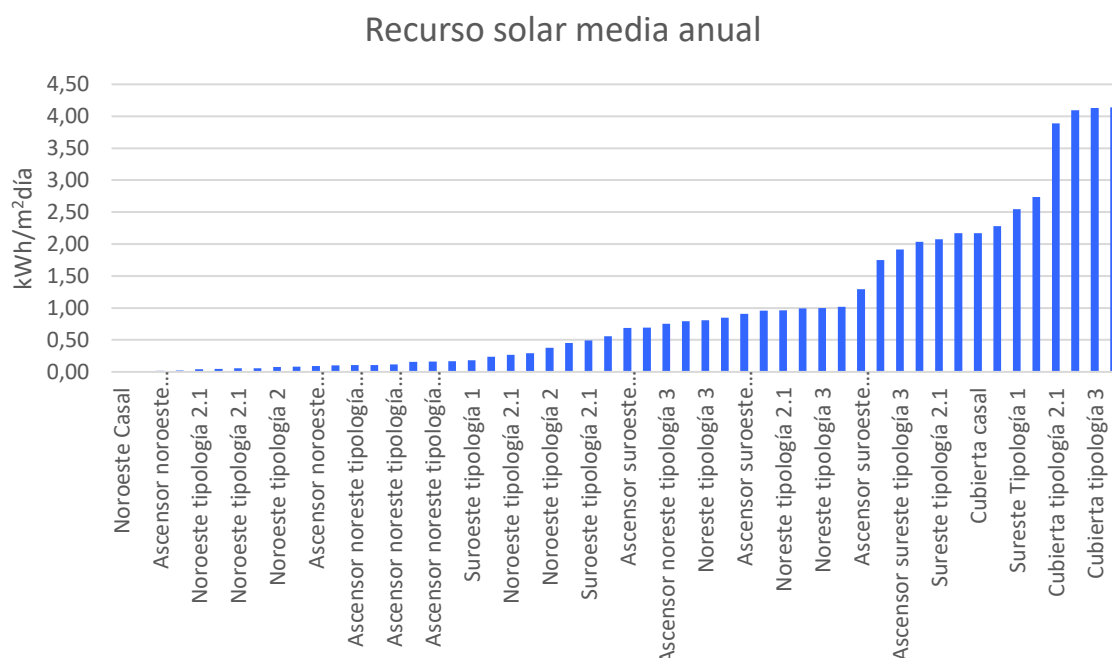


Figura 21. Gráfica de la radiación sobre Can Ros. Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que las cubiertas son las que reciben más radiación seguidas por las fachadas orientadas alrededor del sur.

5.1.3 Cálculo paneles e inversores

En la tabla 12 se aprecian el número de paneles que recubre cada superficie y la producción (en kWh/m²año) de estos conjuntos:

Superficie	Área (m²)	Número paneles	Producción (kWh/m²año)
Ascensor noreste tipología 2	46,5	28	9
Ascensor noreste tipología 2	48,2	29	6
Ascensor noreste tipología 2.1	45,3	28	9
Ascensor noreste tipología 2.1	45,3	28	6
Ascensor noreste tipología 2.1	46	28	6
Ascensor noreste tipología 3	29,4	18	40
Ascensor noreste tipología 3	37,6	23	42
Ascensor noroeste tipología 2	31,1	19	5
Ascensor noroeste tipología 2	27,2	17	5
Ascensor noroeste tipología 2.1	34,7	21	8
Ascensor noroeste tipología 2.1	36,6	22	3
Ascensor noroeste tipología 2.1	33,1	20	1
Ascensor noroeste tipología 3	51,2	31	1
Ascensor noroeste tipología 3	44,6	27	1

Ascensor sureste tipología 3	53,6	33	101
Ascensor sureste tipología 3	51,3	31	92
Ascensor suroeste tipología 2	49	30	51
Ascensor suroeste tipología 2	45,8	28	68
Ascensor suroeste tipología 2.1	49	30	48
Ascensor suroeste tipología 2.1	45,8	28	36
Ascensor suroeste tipología 2.1	51,7	31	45
Cubierta casal	612,9	366	114
Cubierta tipología 1	370,8	221	218
Cubierta tipología 2	383,1	229	216
Cubierta tipología 2.1	393	235	205
Cubierta tipología 3	307,5	184	218
Noreste casal	78,4	48	24
Noreste tipología 1	1348,5	820	52
Noreste tipología 2	115,3	70	54
Noreste tipología 2.1	114,3	69	51
Noreste tipología 3	125,9	77	53
Noreste tipología 3	241,9	147	43
Noreste tipología 3	123,8	75	37
Noroeste Casal	69,3	42	1
Noroeste tipología 1	228,4	139	15
Noroeste tipología 2	91,9	56	2
Noroeste tipología 2	422,8	257	4
Noroeste tipología 2	91,3	55	20
Noroeste tipología 2.1	92,8	56	3
Noroeste tipología 2.1	182,8	111	4
Noroeste tipología 2.1	186,5	113	2
Noroeste tipología 2.1	101,4	62	14
Noroeste tipología 3	117,6	71	12
Sureste Tipología 1	233,8	142	134
Sureste tipología 2	698,4	424	114
Sureste tipología 2.1	696,6	423	110
Sureste tipología 3	114,8	70	144
Suroeste Casal	79,1	48	29
Suroeste tipología 1	1359,3	826	10
Suroeste tipología 2	111,5	68	120
Suroeste tipología 2.1	117,2	71	26
Suroeste tipología 3	570,7	347	107

Tabla 12. Cálculo paneles e inversores. Fuente: Elaboración propia

Una vez se ha establecido el número de paneles para recubrir toda la superficie del tejido urbano se calculan los inversores que serán necesarios que, en el caso de Can Ros, serán **59 inversores**.

5.1.4 Energía embebida y Tasa de Retorno Energético

Después de calcular el número de paneles se pasa a hacer la criba de las superficies en las que saldría energéticamente rentable llevar a cabo la instalación. Se calcula entonces la energía embebida asociada a cada una de las superficies (número de paneles, estructura, inversores...) en kWh.

Una vez se tiene tanto la energía producida como la energía embebida se pasa a calcular la Tasa de Retorno Energético (explicada en los apartados 2.5 y 3.3.4) con el objetivo de

cribar los valores “outliers” para que el estudio tenga en consideración únicamente las superficies que podrían salir más rentables.

En la tabla 13 se aprecia la superficie, el número de paneles, su producción energética, su energía embebida, el tiempo de retorno energético (en años) y su coeficiente TRE. En rojo se reflejan las superficies que no se tendrán en cuenta para el estudio final.

Superficie	Área (m ²)	Número paneles	Producción (kWh/día)	Energía embebida (kWh)	Tiempo retorno (años)	TRE
Ascensor noreste tipología 2	46,5	28	1	17696	37,13	2
Ascensor noreste tipología 2	48,2	29	1	18343	56,72	1
Ascensor noreste tipología 2.1	45,3	28	1	17240	37,60	2
Ascensor noreste tipología 2.1	45,3	28	1	17240	58,33	1
Ascensor noreste tipología 2.1	46	28	1	17506	53,62	2
Ascensor noreste tipología 3	29,4	18	4	11189	8,16	4
Ascensor noreste tipología 3	37,6	23	5	14309	7,76	5
Ascensor noroeste tipología 2	31,1	19	0	11836	66,13	1
Ascensor noroeste tipología 2	27,2	17	0	10351	61,00	1
Ascensor noroeste tipología 2.1	34,7	21	1	13206	38,85	2
Ascensor noroeste tipología 2.1	36,6	22	0	13929	105,91	1
Ascensor noroeste tipología 2.1	33,1	20	0	12597	259,83	1
Ascensor noroeste tipología 3	51,2	31	0	19485	497,10	1
Ascensor noroeste tipología 3	44,6	27	0	16973	421,91	1
Ascensor sureste tipología 3	53,6	33	17	20398	3,21	10
Ascensor sureste tipología 3	51,3	31	15	19523	3,51	9
Ascensor suroeste tipología 2	49	30	8	18648	6,41	5
Ascensor suroeste tipología 2	45,8	28	10	17430	4,75	7
Ascensor suroeste tipología 2.1	49	30	8	18648	6,76	5
Ascensor suroeste tipología 2.1	45,8	28	5	17430	8,94	4
Ascensor suroeste tipología 2.1	51,7	31	7	19675	7,27	5
Cubierta casal	612,9	366	237	229547	2,66	11
Cubierta tipología 1	370,8	221	273	138874	1,39	21
Cubierta tipología 2	383,1	229	279	143481	1,41	21
Cubierta tipología 2.1	393	235	272	147189	1,48	20
Cubierta tipología 3	307,5	184	226	115167	1,40	21
Noreste casal	78,4	48	6	29837	13,59	3
Noreste tipología 1	1348,5	820	227	513197	6,20	5
Noreste tipología 2	115,3	70	20	43880	6,03	6
Noreste tipología 2.1	114,3	69	19	43499	6,39	5
Noreste tipología 3	125,9	77	21	47914	6,17	5
Noreste tipología 3	241,9	147	33	92060	7,60	5
Noreste tipología 3	123,8	75	15	47114	8,85	4
Noroeste Casal	69,3	42	0	26373	543,99	1
Noroeste tipología 1	228,4	139	11	86922	21,10	2
Noroeste tipología 2	91,9	56	1	34974	139,24	1
Noroeste tipología 2	422,8	257	6	160904	80,03	1
Noroeste tipología 2	91,3	55	6	34746	16,25	3
Noroeste tipología 2.1	92,8	56	1	35317	112,99	1
Noroeste tipología 2.1	182,8	111	3	69568	76,16	1
Noroeste tipología 2.1	186,5	113	1	70976	153,76	1
Noroeste tipología 2.1	101,4	62	5	38590	22,99	2
Noroeste tipología 3	117,6	71	5	44755	25,94	2
Sureste Tipología 1	233,8	142	101	88977	2,41	12
Sureste tipología 2	698,4	424	257	265789	2,84	11
Sureste tipología 2.1	696,6	423	245	265104	2,96	10
Sureste tipología 3	114,8	70	53	43689	2,25	13
Suroeste Casal	79,1	48	7	30103	11,03	3
Suroeste tipología 1	1359,3	826	42	517307	34,01	2
Suroeste tipología 2	111,5	68	43	42433	2,70	11
Suroeste tipología 2.1	117,2	71	10	44603	12,43	3
Suroeste tipología 3	570,7	347	197	217191	3,02	10

Tabla 13. Energía embebida y TRE

Después de hacer la criba se elimina un **39,67%** de las superficies (en m²) y la energía embebida se ve reducida en un **38,69%**.

Como se puede observar, el coeficiente de TRE de 5 coincide con un tiempo de retorno de 7 años. Por tanto, las superficies con un tiempo de retorno mayor a 7 años quedan eliminadas del estudio.

La producción anual mes a mes se ve resumida en la Figura 22:

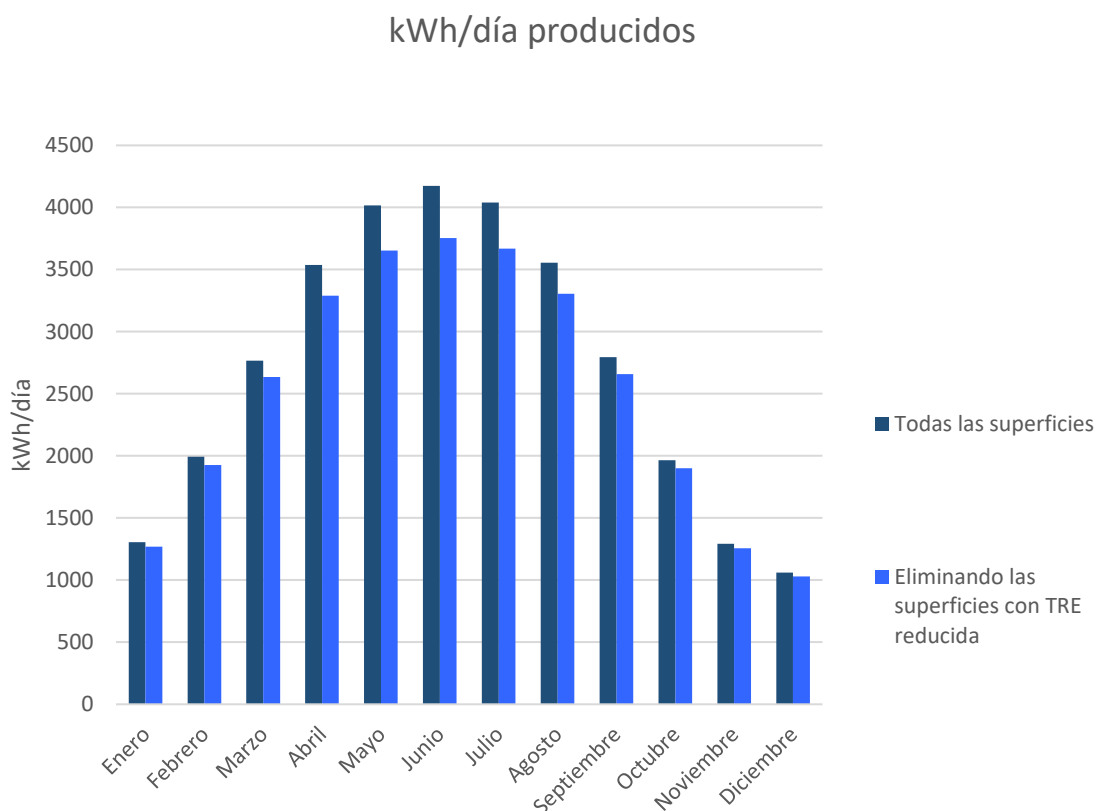


Figura 22. Gráfica de la producción en Can Ros. Fuente: Elaboración propia

Se observa que la diferencia entre lo que sería la producción energética tomando en consideración todas las superficies y eliminando el **39,67%** de éstas es mínima. De media, la producción energética se ve reducida en un **5,59%**.

5.1.5 Resultados

Una vez se han realizado los cálculos previos se pasa a estudiar el tejido como conjunto. En la Figura 23 se aprecia en azul oscuro la producción energética por orientación cartográfica y en el color más claro los años de retorno energético para cada orientación.



Figura 23. Gráfica de resumen por orientación. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 23 se aprecia claramente que las cubiertas son las superficies más rentables en cuanto a años de retorno energético (compensación de la energía embebida). Las superficies con orientación noreste serían las menos rentables en cuanto a años de retorno, pero aun así estarían por debajo de los 7 años.

En la Figura 24 se expone: en el eje X el área cubierta por los paneles fotovoltaicos, en el eje Y los años de retorno energético para cada orientación y el tamaño de las burbujas es la energía embebida para cada orientación (en kWh).

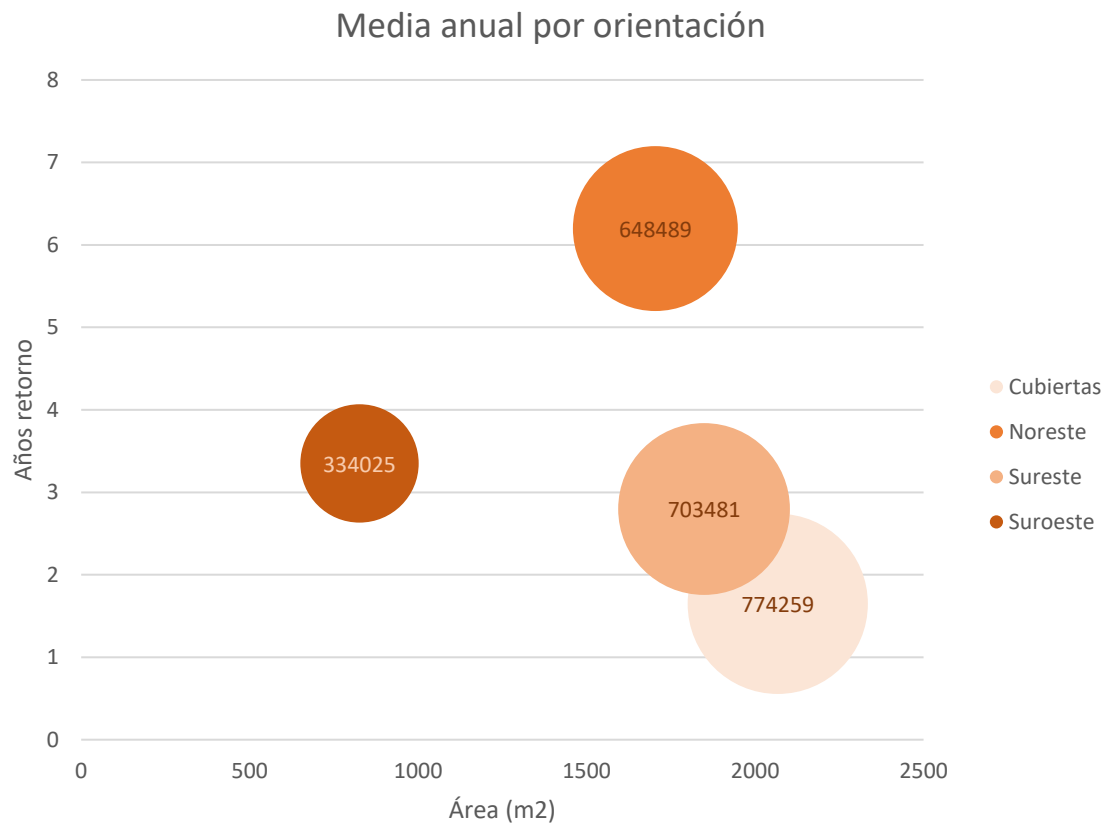


Figura 24. Gráfica de la media anual por orientación. Fuente: Elaboración propia

En las cubiertas y las orientaciones sureste y noreste el área cubierta por los paneles es muy similar, sin embargo, se observa que los años de retorno de las superficies orientadas a noreste discierne mucho de las otras orientaciones.

5.2 Isla Eficiente de l'Eixample

5.2.1 Modelado

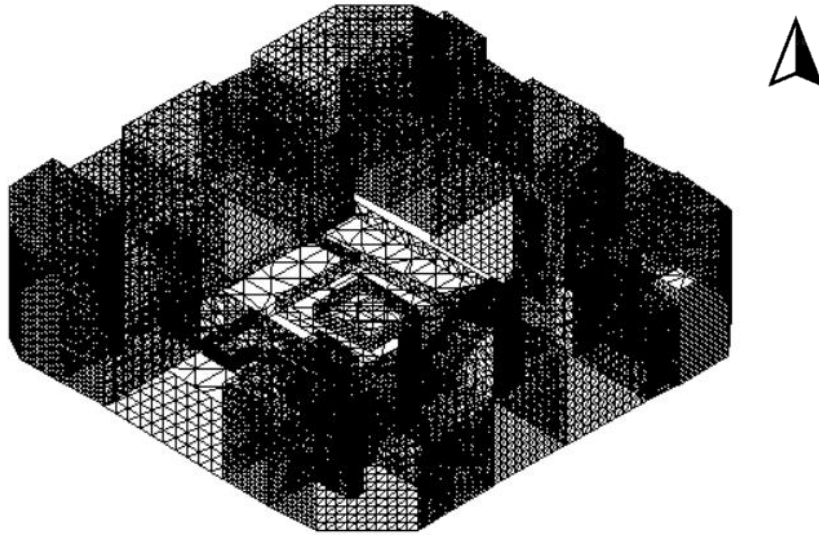


Figura 25. Mallado de l'Eixample. Fuente: Elaboración propia en Heliodon

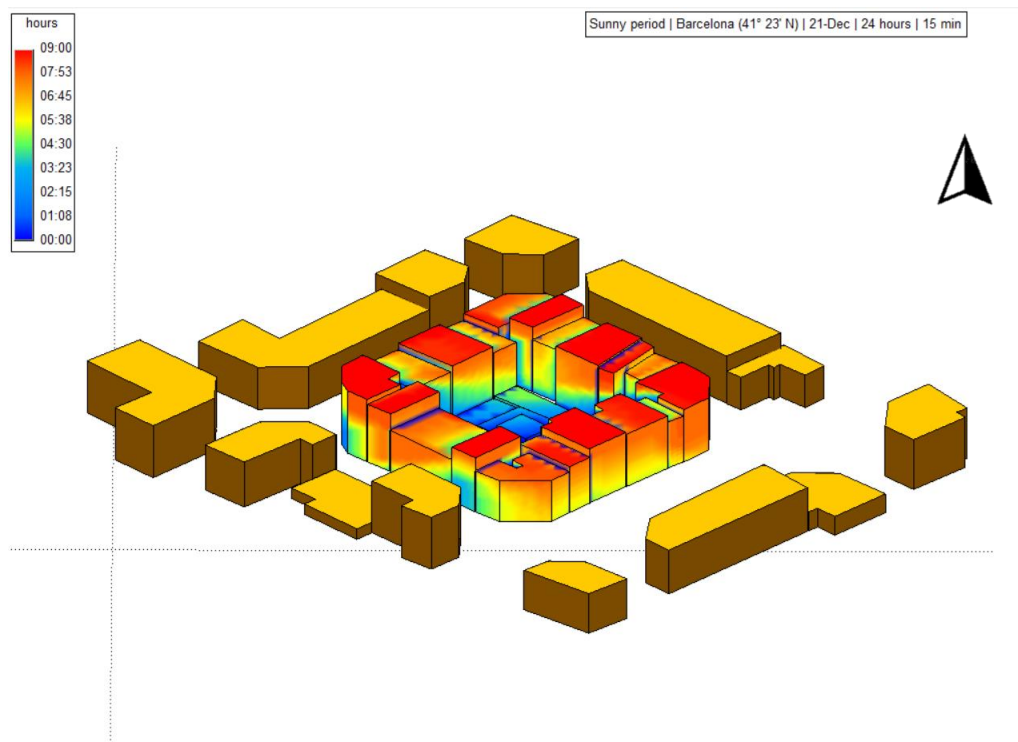


Figura 26. Radiación sobre l'Eixample. Fuente: Elaboración propia en Heliodon

En este caso se ha decidido no tomar en consideración los edificios de dentro de la manzana desde un principio dado que su asoleamiento será mínimo.

5.2.2 Radiación incidente

El recurso solar en el caso de la isla de l'Eixample sería el siguiente (por superficie):

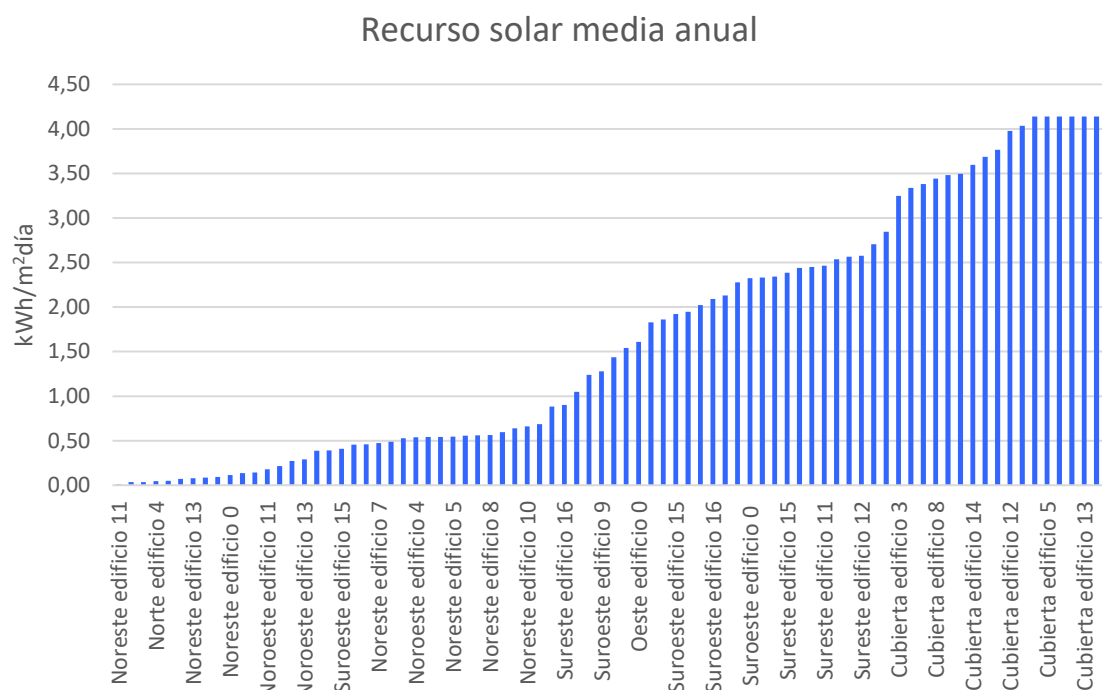


Figura 27. Gráfica de la radiación sobre l'Eixample. Fuente: Elaboración propia

De nuevo las cubiertas y las fachadas del sur (las sureste primero y las suroeste después) son las que reciben más radiación por metro cuadrado.

5.2.3 Cálculo paneles e inversores

Se han realizado los mismos cálculos que en el caso anterior y estos han sido los resultados:

Superficie	Área (m²)	Número paneles	Producción (kWh/m²/año)
Cubierta edificio 0	663,5	396	215
Cubierta edificio 1	668,2	399	181
Cubierta edificio 10	793,9	474	215
Cubierta edificio 11	214,1	128	148
Cubierta edificio 12	655,6	392	207
Cubierta edificio 13	687,5	411	215
Cubierta edificio 14	379,3	227	187
Cubierta edificio 15	593,4	354	192
Cubierta edificio 16	382,4	228	215
Cubierta edificio 17	1121,8	670	182
Cubierta edificio 18	395,3	236	210
Cubierta edificio 2	772,3	461	215
Cubierta edificio 3	428,7	256	169
Cubierta edificio 4	685,5	409	196

Cubierta edificio 5	413,8	247	215
Cubierta edificio 6	441,5	264	174
Cubierta edificio 7	714,9	427	215
Cubierta edificio 8	257,8	154	179
Cubierta edificio 9	311,7	186	176
Este edificio 10	194,7	118	95
Noreste edificio 0	217,4	132	6
Noreste edificio 10	358,5	218	34
Noreste edificio 11	520,9	317	1
Noreste edificio 12	727,4	442	7
Noreste edificio 13	825,3	502	4
Noreste edificio 15	210,6	128	4
Noreste edificio 16	337,3	205	11
Noreste edificio 17	768,4	467	20
Noreste edificio 18	369,5	225	29
Noreste edificio 3	758,6	461	3
Noreste edificio 4	247,5	150	20
Noreste edificio 5	420,4	256	28
Noreste edificio 6	359,5	218	28
Noreste edificio 7	563,4	342	25
Noreste edificio 8	222,1	135	29
Noreste edificio 9	388,3	236	25
Noroeste edificio 0	414,3	252	36
Noroeste edificio 1	529,2	322	28
Noroeste edificio 10	100,3	61	7
Noroeste edificio 11	204,7	124	9
Noroeste edificio 12	378,7	230	29
Noroeste edificio 12	206,5	126	5
Noroeste edificio 13	397,5	242	24
Noroeste edificio 13	151,7	92	15
Noroeste edificio 14	270,5	164	4
Noroeste edificio 15	169,4	103	2
Noroeste edificio 15	71,1	43	2
Noroeste edificio 2	685,9	417	28
Noroeste edificio 3	359,3	218	24
Noroeste edificio 4	738	449	28
Norte edificio 4	486	295	2
Oeste edificio 0	449	273	84
Sur edificio 15	434	264	141
Sureste edificio 0	227,6	138	33
Sureste edificio 1	561,6	341	80
Sureste edificio 10	382,2	232	134
Sureste edificio 11	196,2	119	128
Sureste edificio 12	621	377	134
Sureste edificio 13	565,9	344	127
Sureste edificio 14	274,1	167	132
Sureste edificio 15	224,6	137	124
Sureste edificio 16	721,5	439	47
Sureste edificio 2	694,2	422	111
Sureste edificio 3	340,7	207	101
Sureste edificio 8	811,4	493	31
Suroeste edificio 0	245,1	149	97
Suroeste edificio 0	348	212	121
Suroeste edificio 10	393,3	239	64
Suroeste edificio 12	152,8	93	46
Suroeste edificio 13	87,4	53	55
Suroeste edificio 14	668,9	407	14
Suroeste edificio 15	135,2	82	21
Suroeste edificio 15	270,7	165	100

Suroeste edificio 16	371,5	226	109
Suroeste edificio 17	754	458	122
Suroeste edificio 18	358	218	127
Suroeste edificio 5	399,4	243	75
Suroeste edificio 6	383,6	233	105
Suroeste edificio 7	716,3	435	119
Suroeste edificio 8	230,9	140	121
Suroeste edificio 9	277,7	169	67

Tabla 14. Cálculo paneles e inversores. Fuente: Elaboración propia

En este caso se necesitarán **196 inversores**.

5.2.4 Energía embebida y Tasa de Retorno Energético

A continuación, se realiza la misma criba que en el caso anterior, con una TRE de 5, que coincide con 7 años de retorno energético.

Superficie	Área (m²)	Número paneles	Producción (kWh/día)	Energía embebida (kWh)	Años de retorno	TRE
Cubierta edificio 0	663,5	396	488,87	248498	1,39	21
Cubierta edificio 1	668,2	399	414,05	250259	1,66	18
Cubierta edificio 10	793,9	474	584,91	297337	1,39	21
Cubierta edificio 11	214,1	128	108,52	80186	2,02	15
Cubierta edificio 12	655,6	392	464,24	245540	1,45	20
Cubierta edificio 13	687,5	411	506,56	257487	1,39	21
Cubierta edificio 14	379,3	227	242,93	142058	1,60	18
Cubierta edificio 15	593,4	354	389,55	222244	1,56	19
Cubierta edificio 16	382,4	228	281,79	143219	1,39	21
Cubierta edificio 17	1121,8	670	697,99	420144	1,65	18
Cubierta edificio 18	395,3	236	284,13	148050	1,43	20
Cubierta edificio 2	772,3	461	569,05	289247	1,39	21
Cubierta edificio 3	428,7	256	248,02	160560	1,77	17
Cubierta edificio 4	685,5	409	459,73	256738	1,53	19
Cubierta edificio 5	413,8	247	304,87	154979	1,39	21
Cubierta edificio 6	441,5	264	262,40	165354	1,73	17
Cubierta edificio 7	714,9	427	526,73	267749	1,39	21
Cubierta edificio 8	257,8	154	157,93	96553	1,67	17
Cubierta edificio 9	311,7	186	187,66	116740	1,70	17
Este edificio 10	194,7	118	60,38	74097	3,36	9
Noreste edificio 0	217,4	132	4,16	82736	54,53	2
Noreste edificio 10	358,5	218	40,11	136434	9,32	4
Noreste edificio 11	520,9	317	0,89	198238	610,09	1
Noreste edificio 12	727,4	442	16,84	276826	45,05	2
Noreste edificio 13	825,3	502	11,02	314083	78,07	1
Noreste edificio 15	210,6	128	3,06	80148	71,64	1
Noreste edificio 16	337,3	205	12,21	128366	28,80	2
Noreste edificio 17	768,4	467	50,95	292429	15,73	3
Noreste edificio 18	369,5	225	34,91	140620	11,04	3
Noreste edificio 3	758,6	461	6,26	288699	126,41	1
Noreste edificio 4	247,5	150	16,21	94191	15,92	3
Noreste edificio 5	420,4	256	38,91	159991	11,27	3
Noreste edificio 6	359,5	218	32,97	136814	11,37	3

Noreste edificio 7	563,4	342	45,12	214412	13,02	3
Noreste edificio 8	222,1	135	21,28	84524	10,88	4
Noreste edificio 9	388,3	236	32,21	147775	12,57	3
Noroeste edificio 0	414,3	252	48,15	157670	8,97	4
Noroeste edificio 1	529,2	322	47,51	201397	11,61	3
Noroeste edificio 10	100,3	61	2,45	38171	42,68	2
Noroeste edificio 11	204,7	124	6,20	77902	34,45	2
Noroeste edificio 12	378,7	230	36,01	144121	10,97	4
Noroeste edificio 12	206,5	126	3,29	78587	65,48	1
Noroeste edificio 13	397,5	242	30,73	151276	13,49	3
Noroeste edificio 13	151,7	92	7,48	57732	21,16	2
Noroeste edificio 14	270,5	164	3,29	102944	85,70	1
Noroeste edificio 15	169,4	103	1,05	64468	167,78	1
Noroeste edificio 15	71,1	43	0,41	27058	180,91	1
Noroeste edificio 2	685,9	417	63,19	261032	11,32	3
Noroeste edificio 3	359,3	218	28,01	136738	13,38	3
Noroeste edificio 4	738	449	67,18	280860	11,45	3
Norte edificio 4	486	295	3,88	184956	130,74	1
Oeste edificio 0	449	273	122,40	170875	3,82	8
Sur edificio 15	434	264	199,02	165167	2,27	13
Sureste edificio 0	227,6	138	24,70	86617	9,61	4
Sureste edificio 1	561,6	341	146,87	213727	3,99	8
Sureste edificio 10	382,2	232	166,37	145453	2,40	12
Sureste edificio 11	196,2	119	81,99	74668	2,50	12
Sureste edificio 12	621	377	271,18	236333	2,39	13
Sureste edificio 13	565,9	344	234,06	215364	2,52	12
Sureste edificio 14	274,1	167	117,83	104314	2,43	12
Sureste edificio 15	224,6	137	90,85	85476	2,58	12
Sureste edificio 16	721,5	439	110,37	274580	6,82	5
Sureste edificio 2	694,2	422	250,63	264191	2,89	11
Sureste edificio 3	340,7	207	112,60	129660	3,15	10
Sureste edificio 8	811,4	493	81,93	308793	10,33	4
Suroeste edificio 0	245,1	149	77,34	93277	3,30	9
Suroeste edificio 0	348	212	137,12	132438	2,65	11
Suroeste edificio 10	393,3	239	82,57	149678	4,97	7
Suroeste edificio 12	152,8	93	22,88	58151	6,96	5
Suroeste edificio 13	87,4	53	15,53	33262	5,87	6
Suroeste edificio 14	668,9	407	30,95	254562	22,53	2
Suroeste edificio 15	135,2	82	9,37	51453	15,04	3
Suroeste edificio 15	270,7	165	88,21	103020	3,20	10
Suroeste edificio 16	371,5	226	131,68	141381	2,94	10
Suroeste edificio 17	754	458	299,58	286949	2,62	11
Suroeste edificio 18	358	218	148,69	136244	2,51	12
Suroeste edificio 5	399,4	243	97,32	151999	4,28	7
Suroeste edificio 6	383,6	233	131,45	145986	3,04	10
Suroeste edificio 7	716,3	435	276,65	272601	2,70	11
Suroeste edificio 8	230,9	140	91,34	87873	2,64	11
Suroeste edificio 9	277,7	169	60,20	105684	4,81	7

Tabla 15. Energía embebida y TRE. Fuente: Elaboración propia

En este caso es un **40,68%** de las superficies las que se eliminarían (en m²) y la energía embebida se ve reducida en un **40,87%**.

La producción anual mes a mes se ve resumida en la Figura 28.

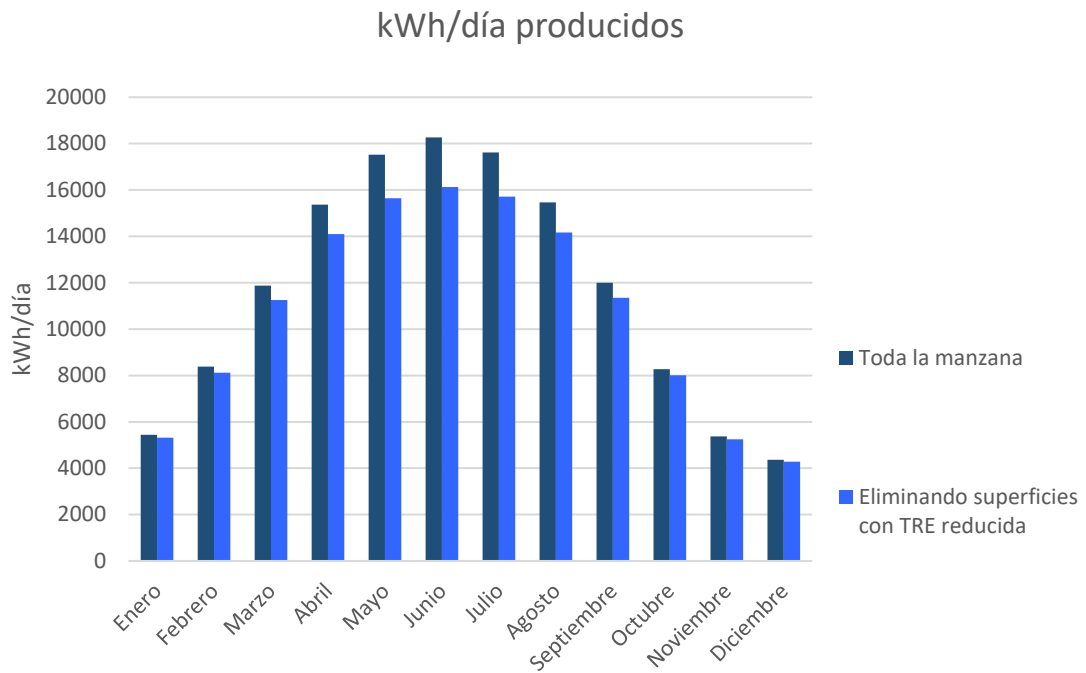


Figura 28. Gráfica de la producción de l'Eixample. Fuente: Elaboración propia

Eliminando un **40,68%** de las superficies la producción energética solo se ve reducida de media en un **6,12%**.

5.2.5 Resultados

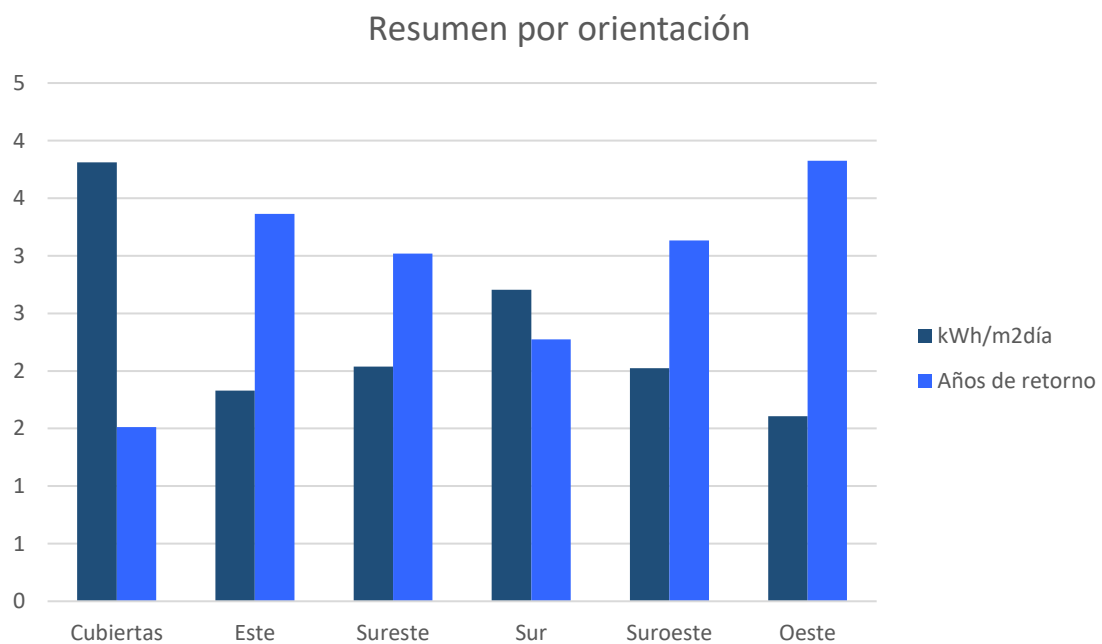


Figura 29. Gráfica de resumen por orientación. Fuente: Elaboración propia

En este caso la fachada oeste (chaflán) sería la que más años de retorno energético necesitaría, aunque este valor siga siendo bajo (menos de 4 años). El chaflán sur, sin embargo, rondaría los 2 años de retorno. De nuevo las cubiertas son las que saldrían más rentables a nivel energético con menos de 1 año y medio de retorno.



Figura 30. Gráfica de media anual por orientación. Fuente: Elaboración propia

En esta gráfica se ve claramente reflejado el hecho de que en l'Eixample hay muchísima área aprovechable en las cubiertas. Las fachadas sur, este y oeste tienen muy poca superficie aprovechable en este caso porque, como se ha comentado antes, son los chaflanes de la manzana.

5.3 Conjunto unifamiliar Sant Quirze

5.3.1 Modelado

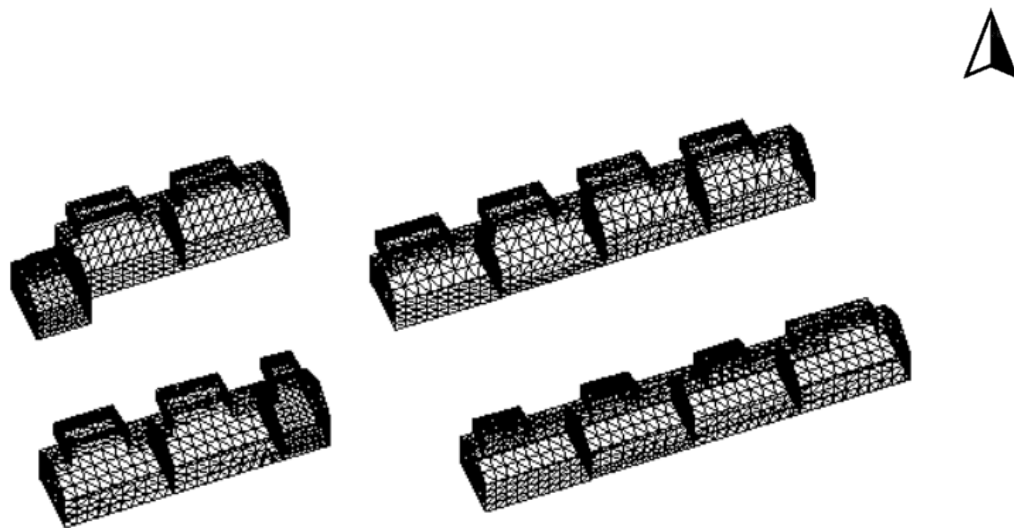


Figura 31. Mallado Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia en Heliodon

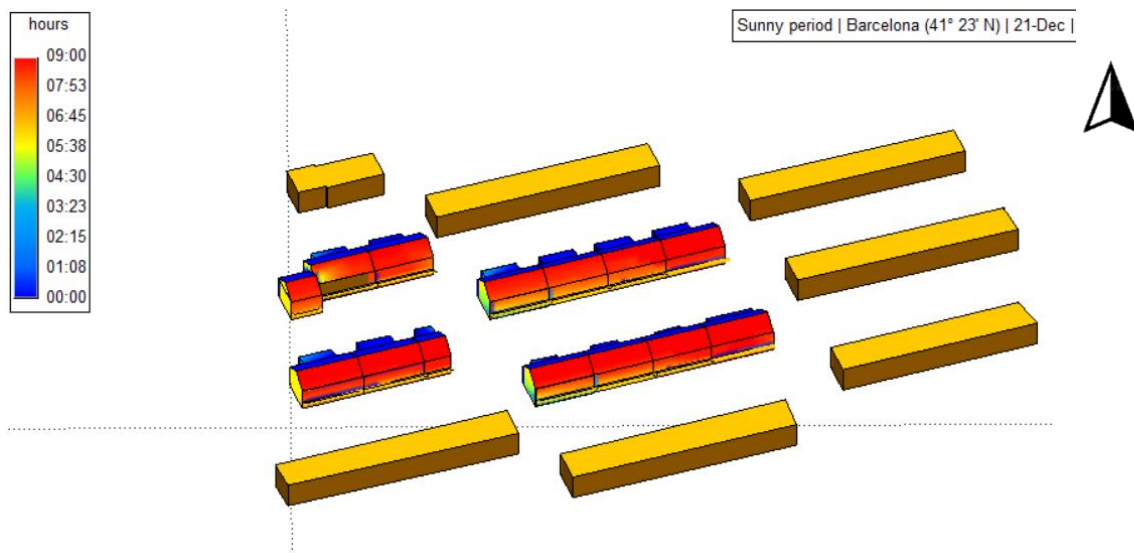


Figura 32. Radiación sobre Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia en Heliodon

Este caso difiere bastante de los anteriores en el aspecto morfológico. A parte de ser una estructura de viviendas unifamiliares, las cubiertas tanto de las casas como de sus garajes son inclinadas (orientadas a noroeste y sureste).

Es por esto por lo que en el apartado de los resultados se distinguirá entre cubiertas con orientación noroeste y orientación sureste.

5.3.2 Radiación incidente

El recurso solar en el caso del conjunto unifamiliar de Sant Quirze sería el siguiente (por superficie):

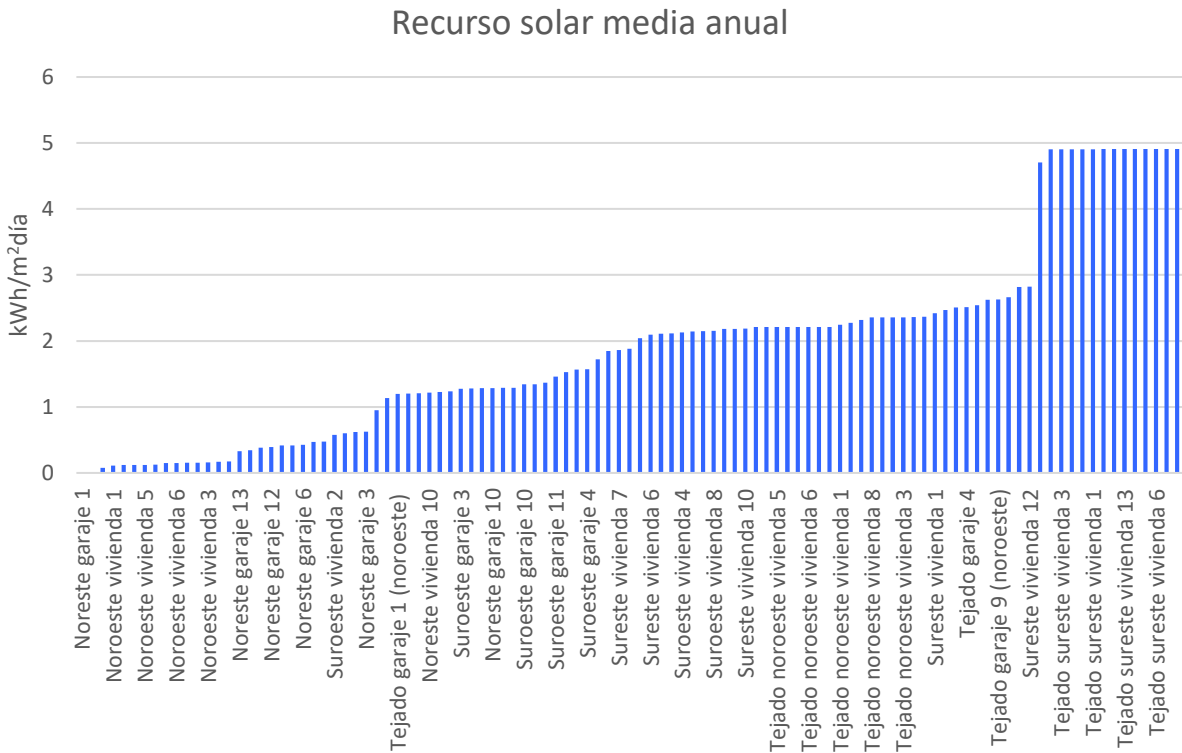


Figura 33. Gráfica de radiación sobre Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia

En este caso las superficies que reciben más radiación son las áreas de las cubiertas que están orientadas hacia el sureste.

5.3.3 Cálculo paneles e inversores

Se han realizado los mismos cálculos que en el caso anterior y estos han sido los resultados:

Superficie	Área (m²)	Número paneles	Producción (kWh/m²/año)
Noreste garaje 1	7,7	5	0
Noreste garaje 10	22,9	14	68
Noreste garaje 11	16,6	10	18
Noreste garaje 12	16,5	10	21
Noreste garaje 13	16,3	10	17
Noreste garaje 14	16,4	10	50

Noreste garaje 2	13,4	8	20
Noreste garaje 3	17,2	10	33
Noreste garaje 4	15,6	9	22
Noreste garaje 5	15,6	9	22
Noreste garaje 6	15,4	9	22
Noreste garaje 7	14,9	9	33
Noreste garaje 8	22,4	14	25
Noreste garaje 9	21,6	13	25
Noreste vivienda 1	73,4	45	32
Noreste vivienda 10	72,1	44	64
Noreste vivienda 14	69,8	42	65
Noreste vivienda 3	73,4	45	63
Noreste vivienda 7	69,8	42	65
Noroeste vivienda 1	49,6	30	6
Noroeste vivienda 10	24,6	15	9
Noroeste vivienda 11	95,5	58	6
Noroeste vivienda 12	95,1	58	6
Noroeste vivienda 13	95,5	58	7
Noroeste vivienda 14	57,9	35	8
Noroeste vivienda 2	73,4	45	0
Noroeste vivienda 3	57,7	35	8
Noroeste vivienda 4	92,5	56	4
Noroeste vivienda 5	55	33	6
Noroeste vivienda 6	54,2	33	8
Noroeste vivienda 7	54,7	33	8
Noroeste vivienda 8	59,9	36	9
Noroeste vivienda 9	59,6	36	8
Sureste vivienda 1	49,8	30	128
Sureste vivienda 10	43,5	26	115
Sureste vivienda 12	63,5	39	149
Sureste vivienda 13	95,4	58	111
Sureste vivienda 14	100,4	61	97
Sureste vivienda 3	95	58	115
Sureste vivienda 5	63,5	39	149
Sureste vivienda 6	95,4	58	111
Sureste vivienda 7	95,5	58	98
Sureste vivienda 8	99,5	60	91
Sureste vivienda 9	99,2	60	99
Suroeste garaje 1	10,9	7	64
Suroeste garaje 10	22,6	14	71
Suroeste garaje 11	17,1	10	77
Suroeste garaje 12	16,9	10	71
Suroeste garaje 13	16,3	10	60
Suroeste garaje 14	16,7	10	67
Suroeste garaje 2	19,3	12	80
Suroeste garaje 3	18,3	11	67
Suroeste garaje 4	22,1	13	83
Suroeste garaje 5	16,1	10	68
Suroeste garaje 6	15,7	10	68
Suroeste garaje 8	22,5	14	83
Suroeste garaje 9	23,2	14	72
Suroeste garaje7	15,3	9	68
Suroeste vivienda 1	14,7	9	113
Suroeste vivienda 11	69,8	42	113
Suroeste vivienda 2	73,4	45	30
Suroeste vivienda 4	69,8	42	112
Suroeste vivienda 8	73,4	45	114
Tejado garaje 1 (noroeste)	18,1	11	63
Tejado garaje 10 (noroeste)	29,1	18	140

Tejado garaje 11 (noroeste)	36,9	22	111
Tejado garaje 12	37,2	23	120
Tejado garaje 13 (noroeste)	33,8	21	108
Tejado garaje 14 (noroeste)	64,1	39	115
Tejado garaje 2 (noroeste)	53,2	32	125
Tejado garaje 3 (noroeste)	48,4	29	122
Tejado garaje 4	61,1	37	133
Tejado garaje 5 (noroeste)	61,3	37	134
Tejado garaje 6 (noroeste)	60	36	132
Tejado garaje 7 (noroeste)	58,2	35	130
Tejado garaje 8 (noroeste)	59,9	36	138
Tejado garaje 9 (noroeste)	62	38	138
Tejado noroeste vivienda 1	50	30	118
Tejado noroeste vivienda 10	43,7	27	124
Tejado noroeste vivienda 11	89,5	54	116
Tejado noroeste vivienda 12	89,5	54	117
Tejado noroeste vivienda 13	89,5	54	116
Tejado noroeste vivienda 2	95,5	58	124
Tejado noroeste vivienda 3	95,5	58	124
Tejado noroeste vivienda 4	89,5	54	116
Tejado noroeste vivienda 5	89,5	54	116
Tejado noroeste vivienda 6	89,5	54	117
Tejado noroeste vivienda 7	89,5	54	117
Tejado noroeste vivienda 8	99,6	61	124
Tejado noroeste vivienda 9	99,6	61	124
Tejado noroeste vivienda 14	94	57	117
Tejado sureste vivienda 1	45,4	28	259
Tejado sureste vivienda 10	39,7	24	258
Tejado sureste vivienda 11	87	53	259
Tejado sureste vivienda 12	87	53	259
Tejado sureste vivienda 13	87	53	259
Tejado sureste vivienda 14	91,4	56	259
Tejado sureste vivienda 2	86,7	53	248
Tejado sureste vivienda 3	86,7	53	258
Tejado sureste vivienda 4	87	53	259
Tejado sureste vivienda 5	87	53	259
Tejado sureste vivienda 6	87	53	259
Tejado sureste vivienda 7	87	53	259
Tejado sureste vivienda 8	90,4	55	259
Tejado sureste vivienda 9	90,4	55	259

Tabla 16. Cálculo paneles e inversores. Fuente: Elaboración propia

En este caso se necesitarán **33 inversores**.

5.3.4 Energía embebida y Tasa de Retorno Energético

Superficie	Área (m²)	Número paneles	Producción (kWh/día)	Energía embebida (kWh)	Años de retorno	TRE
Noreste garaje 1	7,7	5	0,00	3200	0,00	1
Noreste garaje 10	22,9	14	4,99	9003	4,95	7
Noreste garaje 11	16,6	10	0,96	6526	18,58	2
Noreste garaje 12	16,5	10	1,09	6487	16,27	3
Noreste garaje 13	16,3	10	0,91	6408	19,38	2
Noreste garaje 14	16,4	10	2,65	6448	6,68	5
Noreste garaje 2	13,4	8	0,87	5268	16,66	3
Noreste garaje 3	17,2	10	1,82	6762	10,20	4
Noreste garaje 4	15,6	9	1,10	6133	15,25	3
Noreste garaje 5	15,6	9	1,10	6133	15,23	3
Noreste garaje 6	15,4	9	1,11	6055	14,95	3
Noreste garaje 7	14,9	9	1,56	5858	10,27	4
Noreste garaje 8	22,4	14	1,79	8807	13,46	3
Noreste garaje 9	21,6	13	1,74	8492	13,38	3
Noreste vivienda 1	73,4	45	7,47	28858	10,59	4
Noreste vivienda 10	72,1	44	14,91	28347	5,21	6
Noreste vivienda 14	69,8	42	14,64	27442	5,14	6
Noreste vivienda 3	73,4	45	14,98	28858	5,28	6
Noreste vivienda 7	69,8	42	14,54	27442	5,17	6
Noroeste vivienda 1	49,6	30	0,93	19501	57,29	1
Noroeste vivienda 10	24,6	15	0,71	9672	37,35	2
Noroeste vivienda 11	95,5	58	1,98	37546	51,89	2
Noroeste vivienda 12	95,1	58	1,90	37389	53,78	2
Noroeste vivienda 13	95,5	58	2,04	37546	50,34	2
Noroeste vivienda 14	57,9	35	1,45	22764	42,93	2
Noroeste vivienda 2	73,4	45	0,00	0	0,00	0
Noroeste vivienda 3	57,7	35	1,56	22685	39,73	2
Noroeste vivienda 4	92,5	56	1,21	36367	82,28	1
Noroeste vivienda 5	55	33	1,15	21624	51,70	2
Noroeste vivienda 6	54,2	33	1,38	21309	42,42	2
Noroeste vivienda 7	54,7	33	1,45	21506	40,68	2
Noroeste vivienda 8	59,9	36	1,79	23550	36,07	2
Noroeste vivienda 9	59,6	36	1,57	23432	41,00	2
Sureste vivienda 1	49,8	30	20,45	19579	2,62	11
Sureste vivienda 10	43,5	26	16,12	17102	2,91	10
Sureste vivienda 12	63,5	39	30,41	24965	2,25	13
Sureste vivienda 13	95,4	58	34,11	37507	3,01	10
Sureste vivienda 14	100,4	61	31,43	39473	3,44	9
Sureste vivienda 3	95	58	35,17	37350	2,91	10
Sureste vivienda 5	63,5	39	30,36	24965	2,25	13
Sureste vivienda 6	95,4	58	33,92	37507	3,03	10
Sureste vivienda 7	95,5	58	30,15	37546	3,41	9
Sureste vivienda 8	99,5	60	29,02	39119	3,69	8
Sureste vivienda 9	99,2	60	31,65	39001	3,38	9
Suroeste garaje 1	10,9	7	2,23	4285	5,27	6
Suroeste garaje 10	22,6	14	5,15	8885	4,73	7
Suroeste garaje 11	17,1	10	4,23	6723	4,36	7
Suroeste garaje 12	16,9	10	3,85	6644	4,73	7
Suroeste garaje 13	16,3	10	3,14	6408	5,59	6
Suroeste garaje 14	16,7	10	3,62	6566	4,97	7
Suroeste garaje 2	19,3	12	4,99	7588	4,16	8
Suroeste garaje 3	18,3	11	3,95	7195	4,99	7
Suroeste garaje 4	22,1	13	5,89	8689	4,04	8
Suroeste garaje 5	16,1	10	3,52	6330	4,93	7
Suroeste garaje 6	15,7	10	3,41	6173	4,95	7
Suroeste garaje 8	22,5	14	5,98	8846	4,05	8
Suroeste garaje 9	23,2	14	5,37	9121	4,65	7
Suroeste garaje 7	15,3	9	3,34	6015	4,93	7
Suroeste vivienda 1	14,7	9	5,36	5779	2,96	10
Suroeste vivienda 11	69,8	42	25,34	27442	2,97	10
Suroeste vivienda 2	73,4	45	7,17	28858	11,02	3

Suroeste vivienda 4	69,8	42	25,22	27442	2,98	10
Suroeste vivienda 8	73,4	45	26,81	28858	2,95	10
Tejado garaje 1 (noroeste)	18,1	11	3,86	7116	5,05	6
Tejado garaje 10 (noroeste)	29,1	18	13,78	11441	2,27	13
Tejado garaje 11 (noroeste)	36,9	22	13,86	14507	2,87	11
Tejado garaje 12	37,2	23	15,03	14625	2,67	11
Tejado garaje 13 (noroeste)	33,8	21	12,26	13289	2,97	10
Tejado garaje 14 (noroeste)	64,1	39	24,87	25201	2,78	11
Tejado garaje 2 (noroeste)	53,2	32	22,37	20916	2,56	12
Tejado garaje 3 (noroeste)	48,4	29	19,95	19029	2,61	12
Tejado garaje 4	61,1	37	27,31	24022	2,41	12
Tejado garaje 5 (noroeste)	61,3	37	27,71	24100	2,38	13
Tejado garaje 6 (noroeste)	60	36	26,76	23589	2,42	12
Tejado garaje 7 (noroeste)	58,2	35	25,56	22882	2,45	12
Tejado garaje 8 (noroeste)	59,9	36	27,94	23550	2,31	13
Tejado garaje 9 (noroeste)	62	38	28,96	24376	2,31	13
Tejado noroeste vivienda 1	50	30	19,97	19658	2,70	11
Tejado noroeste vivienda 10	43,7	27	18,33	17181	2,57	12
Tejado noroeste vivienda 11	89,5	54	35,16	35188	2,74	11
Tejado noroeste vivienda 12	89,5	54	35,16	35188	2,74	11
Tejado noroeste vivienda 13	89,5	54	35,16	35188	2,74	11
Tejado noroeste vivienda 2	95,5	58	40,04	37546	2,57	12
Tejado noroeste vivienda 3	95,5	58	40,04	37546	2,57	12
Tejado noroeste vivienda 4	89,5	54	35,16	35188	2,74	11
Tejado noroeste vivienda 5	89,5	54	35,16	35188	2,74	11
Tejado noroeste vivienda 6	89,5	54	35,16	35188	2,74	11
Tejado noroeste vivienda 7	89,5	54	35,16	35188	2,74	11
Tejado noroeste vivienda 8	99,6	61	41,75	39158	2,57	12
Tejado noroeste vivienda 9	99,6	61	41,75	39158	2,57	12
Tejado noroeste vivienda 14	94	57	36,94	36957	2,74	11
Tejado sureste vivienda 1	45,4	28	39,59	17849	1,24	23
Tejado sureste vivienda 10	39,7	24	34,60	15608	1,24	23
Tejado sureste vivienda 11	87	53	75,88	34205	1,23	23
Tejado sureste vivienda 12	87	53	75,88	34205	1,23	23
Tejado sureste vivienda 13	87	53	75,88	34205	1,23	23
Tejado sureste vivienda 14	91,4	56	79,73	35935	1,23	23
Tejado sureste vivienda 2	86,7	53	72,49	34087	1,29	22
Tejado sureste vivienda 3	86,7	53	75,58	34087	1,24	23
Tejado sureste vivienda 4	87	53	75,88	34205	1,23	23
Tejado sureste vivienda 5	87	53	75,88	34205	1,23	23
Tejado sureste vivienda 6	87	53	75,88	34205	1,23	23
Tejado sureste vivienda 7	87	53	75,88	34205	1,23	23
Tejado sureste vivienda 8	90,4	55	78,81	35541	1,24	23
Tejado sureste vivienda 9	90,4	55	78,81	35541	1,24	23

Tabla 17. Energía embebida y TRE. Fuente: Elaboración propia

En este caso es un **21,09%** de las superficies las que se eliminarían (en m²) y la energía embebida se ve reducida en un **19,98%**.

La producción anual mes a mes se ve resumida en la Figura 34.

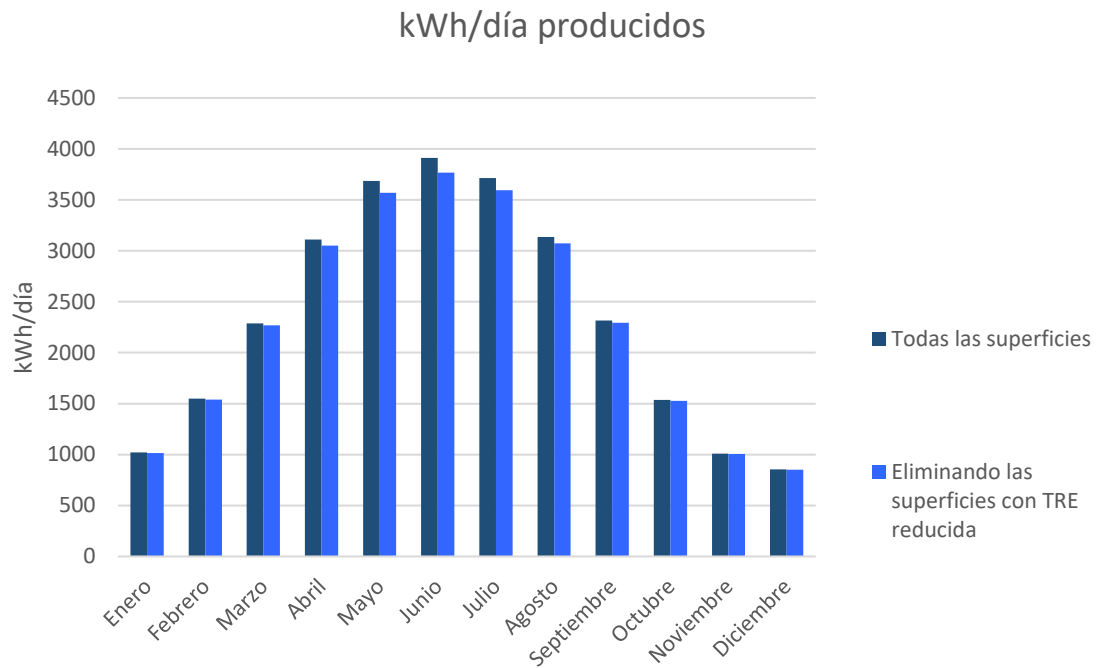


Figura 34. Gráfica de producción de Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia

Eliminando un **21,09%** de las superficies la producción energética solo se ve reducida de media en un **1,53%**.

5.3.5 Resultados

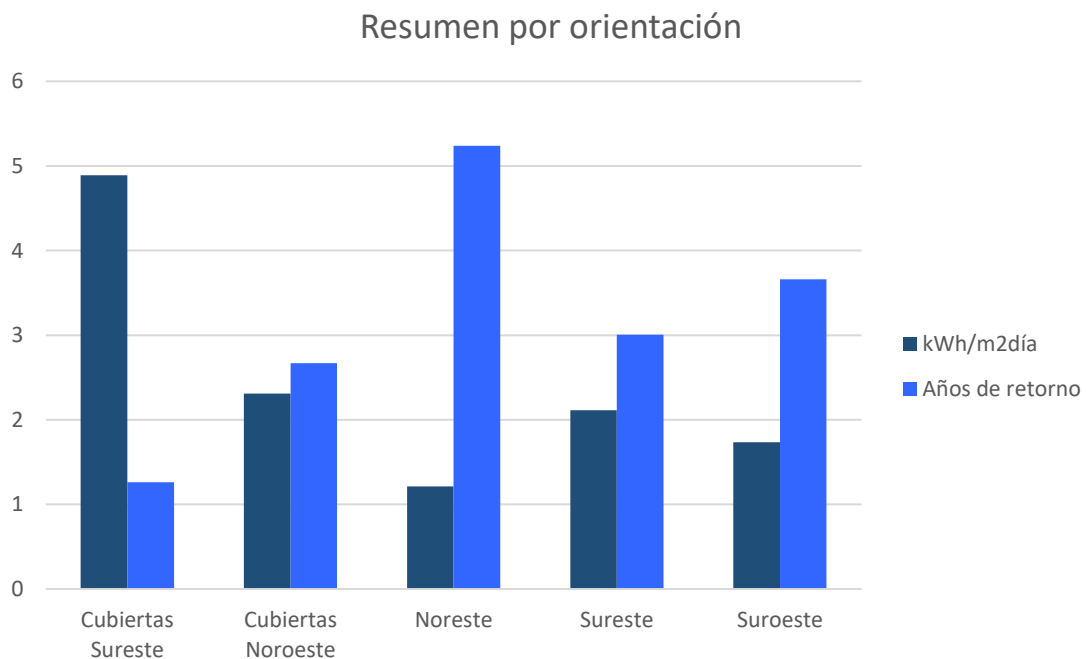


Figura 35. Gráfica de resumen por orientación. Fuente: Elaboración propia

El balance energético en el caso de Sant Quirze se diferencia de los otros dos en dos aspectos:

- La fachada noreste no ha desaparecido en la criba (como en el caso de l'Eixample) y ofrece un retorno bastante asumible de alrededor de 5 años (menor que el de las superficies norestes de Can Ros). Esto se debe a que la orientación noreste de las viviendas unifamiliares de Sant Quirze está orientada más hacia el este que hacia el norte.
- El segundo aspecto diferenciado es el hecho de que las cubiertas tienen dos orientaciones. De todos modos, las cubiertas (tanto sureste como noroeste) continúan siendo las superficies más rentables en cuanto años de retorno.

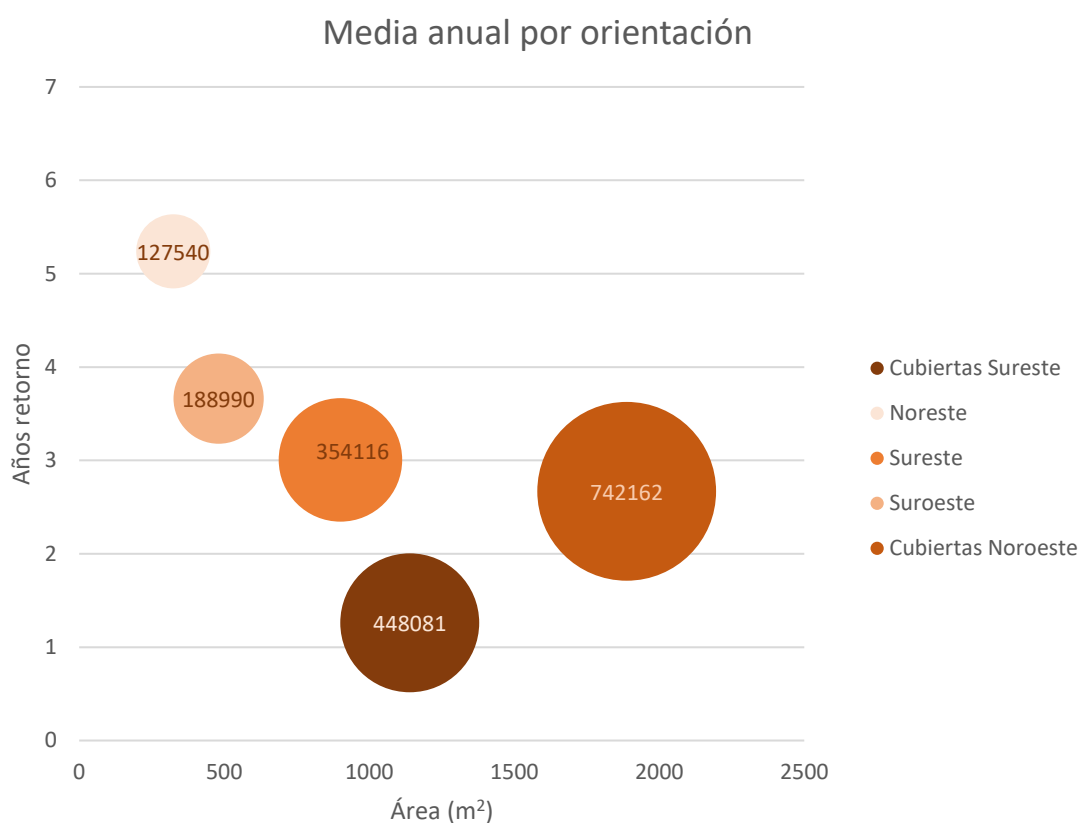



Figura 36. Gráfica de media anual por orientación. Fuente: Elaboración propia

Se observa en este caso que las cubiertas son las superficies con más área aprovechable, en concreto las cubiertas con orientación noroeste dado que en estas se incluyen las cubiertas de los garajes. De nuevo la orientación de fachada noreste es la que menos rentable saldría (aunque sigue estando dentro de los márgenes establecidos).



6 Síntesis de los resultados y comparación

6.1 Análisis comparativo

6.1.1 Producción

La eficiencia de la envolvente de cada conjunto se estudia en kWh/m² envolvente producidos. A la hora de hacer la media para todos los casos los resultados parecen ser bastante similares. La media de kWh/m²día¹⁰ para cada caso es la siguiente:

Caso	kWh/m ² envolvente día
Can Ros	0,37
Eixample	0,48
Sant Quirze	0,43

Tabla 18. Media de producción de cada caso. Fuente: Elaboración propia

En este caso sería la manzana de l'Eixample la que presentaría un mayor rendimiento medio, pero, como se ha dicho, la diferencia con los otros dos casos no sería demasiado significativa.

Una vez se ha evaluado la producción media de la envolvente se pasa a estudiar los casos con respecto a la superficie construida que, recordamos, es la siguiente:

Caso	m ² construidos
Can Ros	9739
Eixample	64624
Sant Quirze	4273

Tabla 19. m² construidos. Fuente: Elaboración propia a partir de sedecatastro.gob.es

En la Figura 37 se aprecian los kWh/ m² construidos para cada caso. Los resultados se establecen en base a una TRE de 5 y una TRE más restrictiva. Se establece el valor de esta última Tasa en 12 ya que es el valor más elevado publicado en los estudios que se han utilizado de base en este trabajo.

Se ha decidido plantear esta circunstancia por si se diese el caso de que se quisiese llevar a cabo el proyecto con las superficies más rentables. Con una TRE de 12 la criba se hace cuando los años de retorno energético no pasan de 2,5. En este escenario las únicas superficies con las que se trabajaría serían las orientadas hacia alrededor del sur y las cubiertas.

¹⁰ Refiriéndose a las superficies que se han seleccionado después de la criba de la Tasa de Retorno Energético.

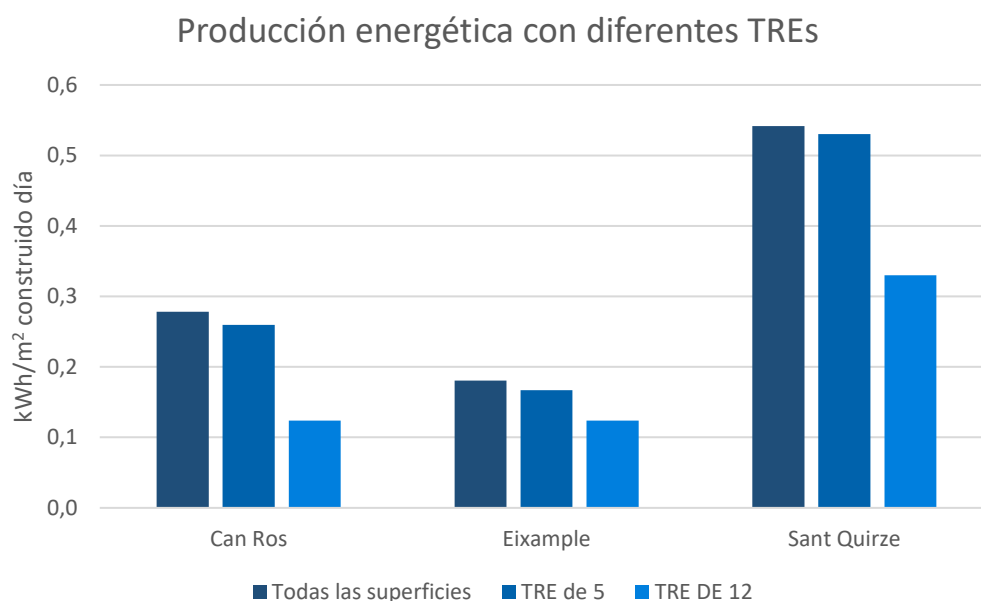


Figura 37. Gráfica producción energética con diferentes TREs. Fuente: Elaboración propia

Se aprecia pues, que el de l'Eixample es el tejido urbano con menos producción por metro cuadrado construido al comienzo, pero su producción se ve muy poco reducida al implementar las TREs acabando con la misma producción que Can Ros con una TRE de 12 (0,12 kWh/m² construido). Es necesario acompañar esta gráfica con otra que explique la reducción de superficie fotovoltaica (es decir la envolvente que se utiliza para instalar los paneles) que sufrirían los tres tejidos si se diese el caso de que el proyecto se ejecutase con una TRE de 12. En la Figura 38 se aprecia la superficie (unitaria - superficie de envolvente/superficie construida) que se utiliza en cada caso.

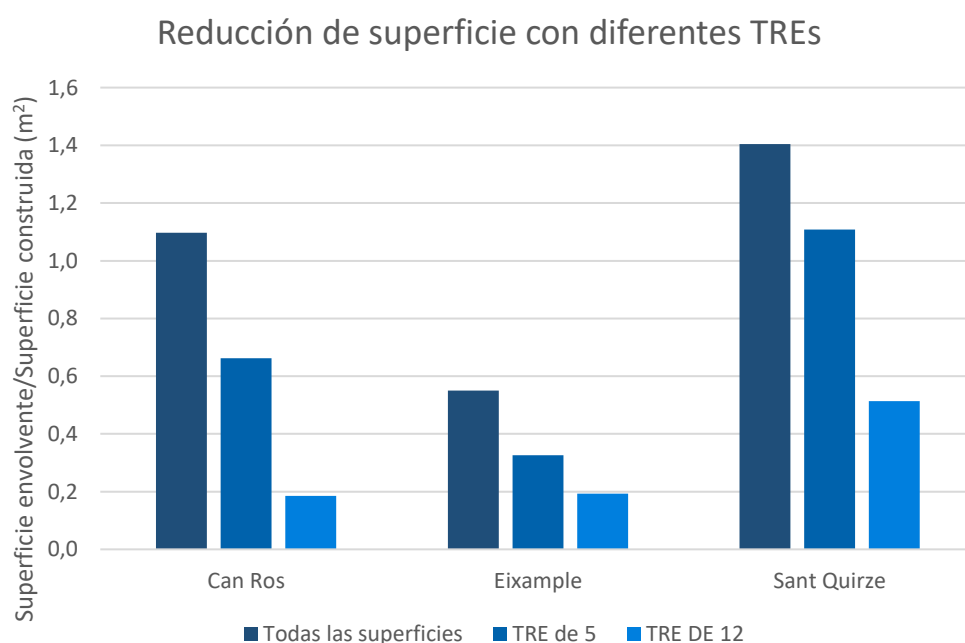


Figura 38. Gráfica reducción de superficies con diferentes TREs. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 39 se juntan los resultados de las dos anteriores en porcentajes para entender que la reducción de superficie fotovoltaica es mucho mayor a la consecuente reducción en su producción ya que se eliminan las superficies menos rentables energéticamente hablando.

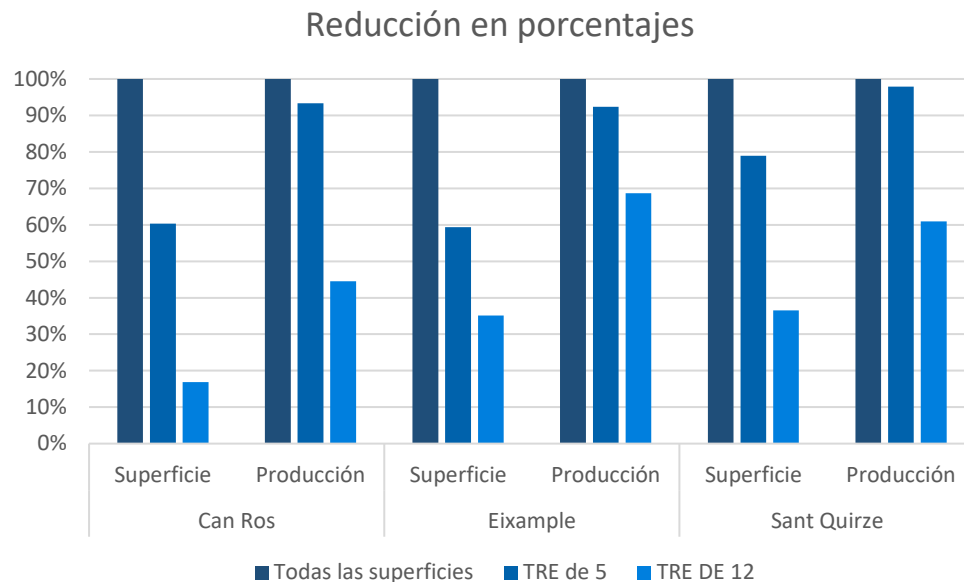


Figura 39. Gráfica de reducción en porcentajes. Fuente: Elaboración propia

En todos los casos la reducción de superficie es muy significativa (83%, 65% y 63%) y, aunque se reduce en un 56%, 31% y 39% su producción fotovoltaica con la TRE más restrictiva, esta sigue siendo aceptable. Se aprecia que el conjunto que sufre menos reducción en la producción al eliminar las superficies poco rentables es el de l'Eixample.

6.1.2 Consumo

El consumo para cada caso se ha expuesto en el capítulo 4. *Casos de estudio* a continuación se presentará un resumen de esos datos.

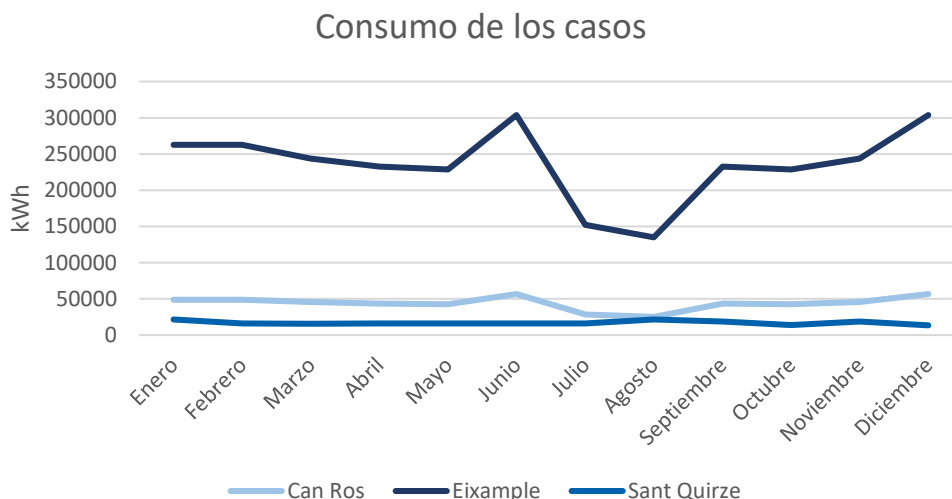


Figura 40. Gráfica de consumo de los casos. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 40 se aprecia la diferencia en dimensiones de los consumos de cada caso. Esto es debido a que el número de viviendas varía mucho de un caso al otro. Se observa pues que en el tejido de l'Eixample hay muchas más viviendas que en el de Sant Quirze. Se elabora una gráfica que incluya únicamente a Can Ros y Sant Quirze para que se pueda apreciar el consumo en cada caso con escala adecuada.

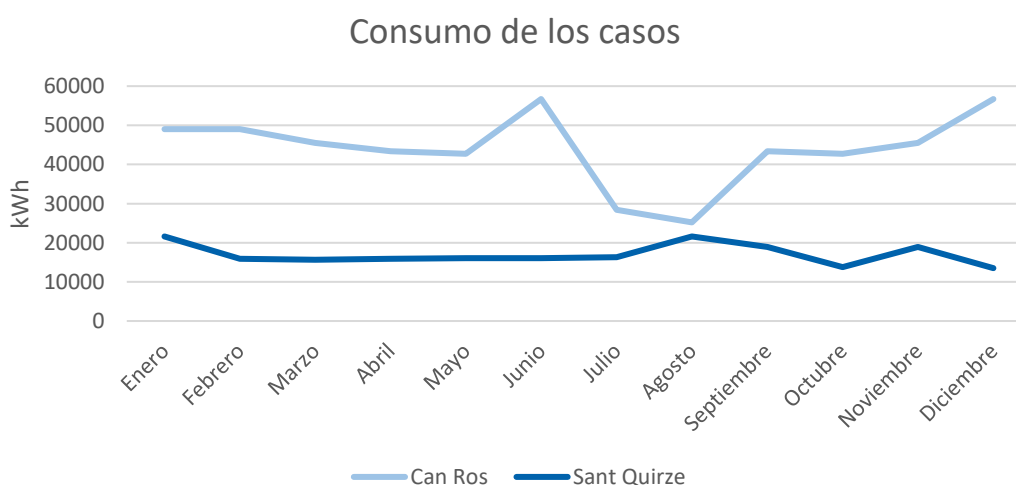


Figura 41. Gráfica de consumo de los casos en diferente escala. Fuente: Elaboración propia

En las viviendas plurifamiliares se aprecia un descenso en el consumo en verano debido a la desocupación por las vacaciones. Sin embargo, en las unifamiliares se aprecia un pico en esta época. Esto se puede deber al hecho de que estas viviendas normalmente tienen piscina (que se utiliza en verano) y aire acondicionado.

6.1.3 Producción vs Consumo

Para hacer el análisis de la producción con respecto al consumo se trabajará con las superficies que cumplen la Tasa de Retorno Energético de 5 (7 años de retorno).

En el momento de comparar la producción fotovoltaica con el consumo aproximado de las viviendas¹¹ nos encontramos con los siguientes resultados. Las gráficas que siguen se han elaborado por 1 vivienda de cada conjunto.

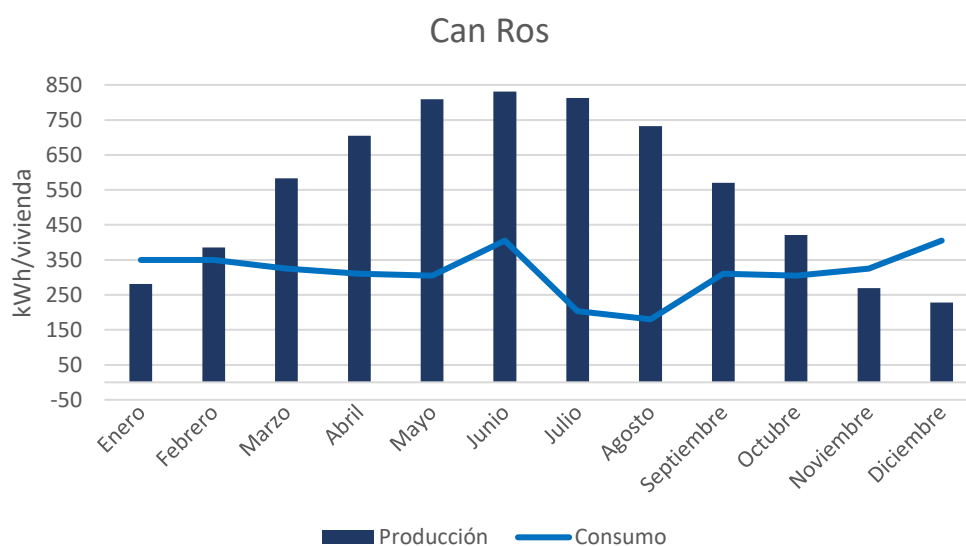


Figura 42. Gráfica consumo y producción Can Ros. Fuente: Elaboración propia

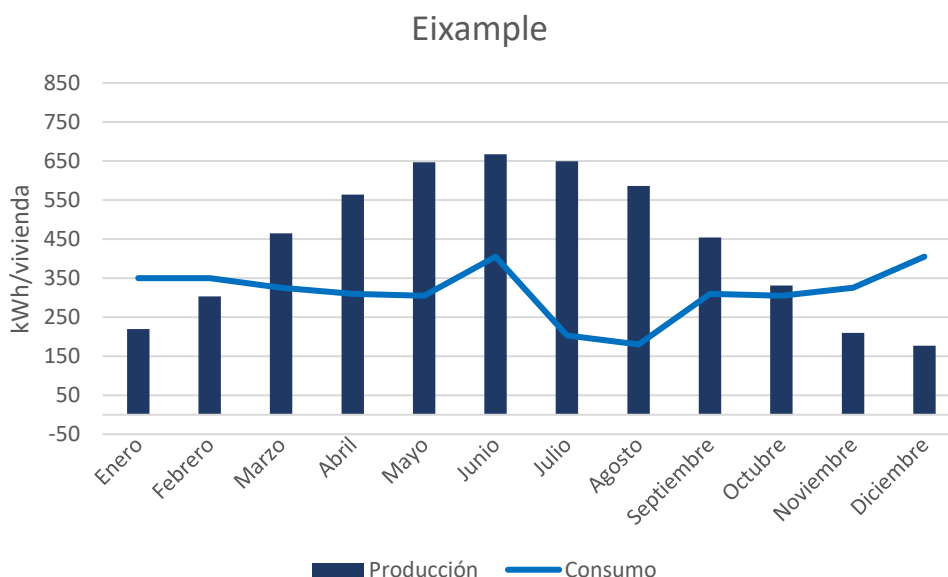


Figura 43. Gráfica consumo y producción Eixample. Fuente: Elaboración propia

¹¹ Este se ha extraído de dos fuentes: para las plurifamiliares del departamento de ingeniería de la energía de la Universidad Politécnica de Valencia y para las unifamiliares de la empresa Seingenia.

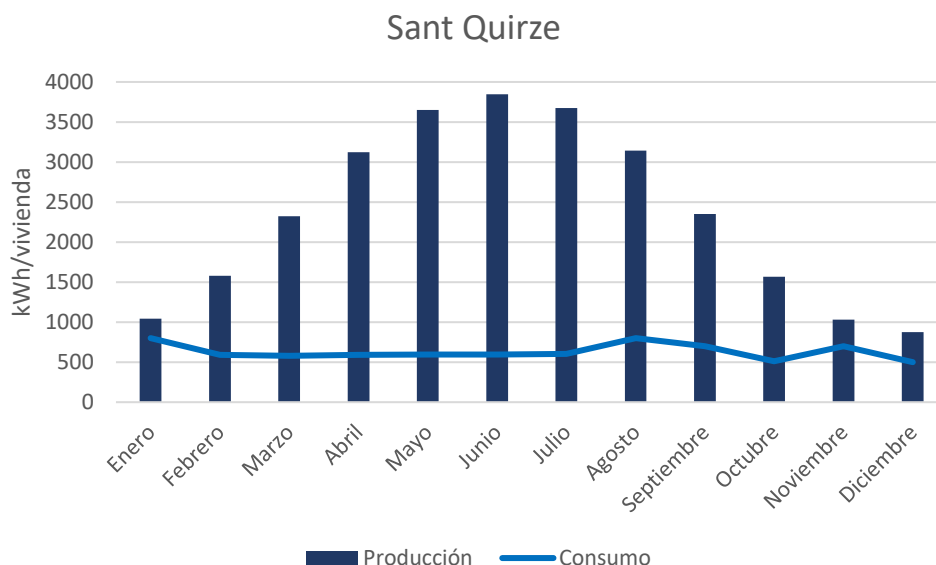


Figura 44. Gráfica consumo y producción Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que en todos los casos la energía fotovoltaica juega un papel bastante grande a la hora de cubrir el consumo¹².

Es sin embargo el caso de las viviendas unifamiliares el que llama más la atención. Como se observa en la Figura 44, el campo fotovoltaico diseñado para ese tejido urbano estaría sobredimensionado ya que cubre el consumo de todos los meses con facilidad. Es aquí cuando deben entrar en juego tanto el análisis económico como el de las emisiones energéticas ya que debemos recordar que en el caso de Sant Quirze el coste del proyecto recaería sobre 27 viviendas únicamente.

No obstante, el objetivo de este trabajo es estudiar el potencial fotovoltaico máximo del conjunto urbano y es por esto por lo que se justifica la gráfica de Sant Quirze (Figura 44).

En cuanto a los conjuntos plurifamiliares, se aprecia que el barrio de Can Ros tendría una producción más elevada que el de l'Eixample, pero los dos cubrirían el consumo de la vivienda la mayoría de los meses.

L'Eixample no cubriría el consumo durante 4 meses porque con una TRE de 5 (Figura 37) su producción es de 0,17 kWh/m²construido en comparación a la de Can Ros: 0,26 kWh/m²construido y la de Sant Quirze: 0,53 kWh/m²construido.

¹² Hay que tener en cuenta que se necesitaría alguna forma de almacenaje (baterías) o vender la energía a la Red Eléctrica ya que el grueso del consumo de una vivienda suele ser cuando la luz solar no está disponible.

6.1.4 Balance de las emisiones

Para hacer este análisis tomaremos el periodo desde que se realiza la rehabilitación de los edificios hasta la vida útil de la tecnología fotovoltaica (27,5 años). Se elaborará con la TRE de 5, es decir, teniendo en cuenta las superficies que tienen menos de 7 años de retorno energético.

En la Figura 45 se presentan las emisiones de CO₂ producidas por el consumo de una fuente energética tradicional para cada caso, las emisiones de CO₂ asociadas a la energía embebida para cada caso, la compensación de estas emisiones gracias a la producción fotovoltaica y el balance resultante en el periodo de 27 años y medio. Estos valores se presentan por m² construido para cada caso.

Según el Gobierno de España y la OECC el Factor de emisión de 2019 (kg CO₂/kWh) para a empresa Endesa Generación (mayoritaria en Cataluña) es de 0,31. Para calcular pues las emisiones de CO₂ se multiplicarán los términos en kWh por 0,31.

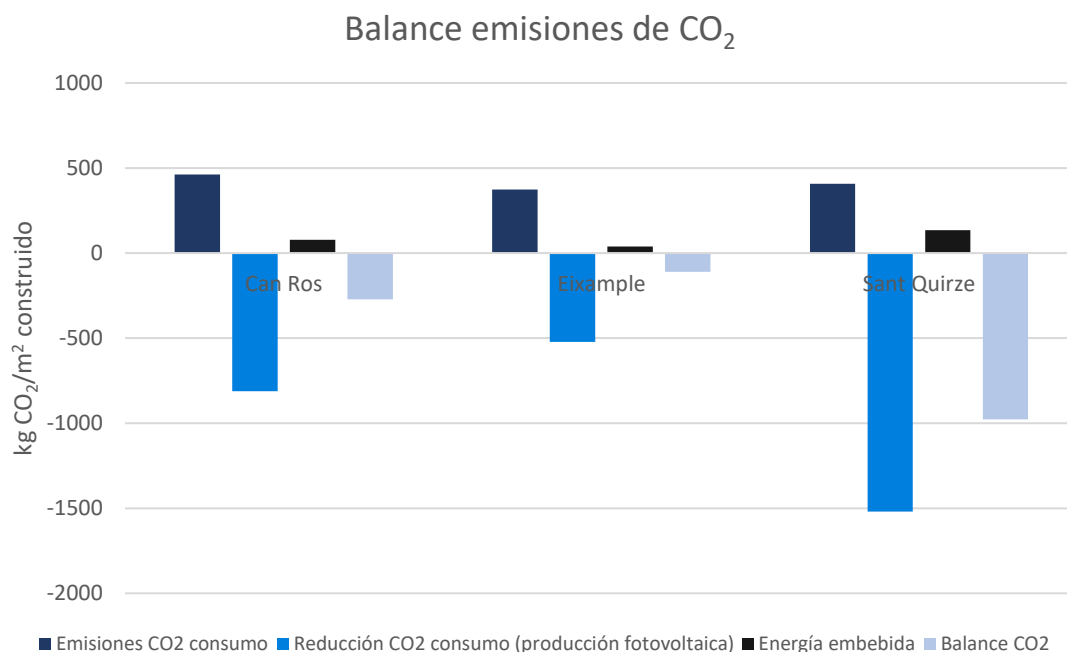


Figura 45. Gráfica balance emisiones de los casos. Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica, el caso de las viviendas unifamiliares de Sant Quirze es el que más beneficiaría al medioambiente en cuanto a emisiones en toda su vida útil ya que su balance sale de $\frac{977 \text{ kg de CO}_2}{\text{m}^2 \text{ construido}}$ no emitidos a la atmósfera pasados 27 años y medio.

El balance de los otros dos casos también serían positivos para el medio ambiente al final del periodo estudiado, aunque entre los dos barrios plurifamiliares el que acabaría siendo más favorable en cuanto a emisiones de gases efecto invernadero es el de Can Ros, dejando de emitir $\frac{272,13 \text{ kg de CO}_2}{\text{m}^2 \text{ construido}}$ pasado el periodo de 27,5 años.

6.1.5 Análisis económico

Se pasa a hacer un análisis económico general de los tres proyectos para ilustrar su viabilidad económica. En este análisis se tendrán en cuenta los elementos que se han mencionado a lo largo de este trabajo (panel, inversor...) y la vida útil de los paneles (27 años y medio). Se desconocen los datos de costes de ingeniería y mantenimiento, y se ha considerado que la energía excedente se vendería a la Red Eléctrica. Los resultados se deben tomar más como una comparación que como estudio económico.

Se procede a estudiar los años de retorno de la inversión para cada caso. El VAN (o Valor Actual Neto) “es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión.”(28)

La fórmula del VAN es la siguiente:

$$VAN = -I + \frac{F1}{(1+k)} + \frac{F2}{(1+k)^2} + \frac{Fn}{(1+k)^n} \quad (\text{Ec.4.})$$

Donde:

- I es la inversión inicial
- Fn son los flujos de dinero en cada periodo n
- n es el número de periodos en el tiempo
- k es la tasa de descuento del dinero

Para los estudios económicos de este trabajo el periodo estudiado es de 28 años y la tasa de descuento será del 3%.(29) Se ha establecido también que los precios de los elementos no varían a lo largo del tiempo.

- Can Ros

Periodo	Inversión	Ahorro	Movimiento fondos	Acumulado	VAN
0	1.118.600,00 €		-1.118.600,00 €		-1.118.600,00 €
1	0,00 €	117.837,24 €	117.837,24 €	-1.000.762,76 €	-1.004.194,91 €
2	0,00 €	119.604,80 €	119.604,80 €	-882.925,52 €	-891.455,92 €
3	0,00 €	121.398,87 €	121.398,87 €	-763.320,72 €	-780.358,75 €
4	0,00 €	123.219,85 €	123.219,85 €	-641.921,85 €	-670.879,51 €
5	0,00 €	125.068,15 €	125.068,15 €	-518.701,99 €	-562.994,62 €
6	0,00 €	126.944,17 €	126.944,17 €	-393.633,84 €	-456.680,87 €
7	0,00 €	128.848,34 €	128.848,34 €	-266.689,67 €	-351.915,39 €
8	0,00 €	130.781,06 €	130.781,06 €	-137.841,33 €	-248.675,61 €
9	0,00 €	132.742,78 €	132.742,78 €	-7.060,27 €	-146.939,32 €
10	0,00 €	134.733,92 €	134.733,92 €	125.682,51 €	-46.684,63 €
11	0,00 €	136.754,93 €	136.754,93 €	260.416,43 €	52.110,04 €
12	0,00 €	138.806,25 €	138.806,25 €	397.171,36 €	149.465,95 €
13	0,00 €	140.888,35 €	140.888,35 €	535.977,61 €	245.404,06 €

14	0,00 €	143.001,67 €	143.001,67 €	676.865,96 €	339.945,01 €
15	0,00 €	145.146,70 €	145.146,70 €	819.867,63 €	433.109,15 €
16	0,00 €	147.323,90 €	147.323,90 €	965.014,32 €	524.916,53 €
17	0,00 €	149.533,76 €	149.533,76 €	1.112.338,22 €	615.386,92 €
18	0,00 €	151.776,76 €	151.776,76 €	1.261.871,98 €	704.539,77 €
19	0,00 €	154.053,41 €	154.053,41 €	1.413.648,74 €	792.394,28 €
20	0,00 €	156.364,21 €	156.364,21 €	1.567.702,15 €	878.969,35 €
21	0,00 €	158.709,68 €	158.709,68 €	1.724.066,37 €	964.283,62 €
22	0,00 €	161.090,32 €	161.090,32 €	1.882.776,04 €	1.048.355,45 €
23	0,00 €	163.506,68 €	163.506,68 €	2.043.866,37 €	1.131.202,94 €
24	0,00 €	165.959,28 €	165.959,28 €	2.207.373,04 €	1.212.843,91 €
25	0,00 €	168.448,67 €	168.448,67 €	2.373.332,32 €	1.293.295,93 €
26	0,00 €	170.975,40 €	170.975,40 €	2.541.780,99 €	1.372.576,32 €
27	0,00 €	173.540,03 €	173.540,03 €	2.712.756,39 €	1.450.702,14 €
28	0,00 €	176.143,13 €	176.143,13 €	2.886.296,41 €	1.527.690,20 €

Tabla 20. Análisis económico Can Ros. Fuente: Elaboración propia

- L'Eixample

Periodo	Inversión	Ahorro	Movimiento fondos	Acumulado	VAN
0	3.649.025,00 €		-3.649.025,00 €		-3.649.025,00 €
1	0,00 €	502.253,48 €	502.253,48 €	-3.146.771,52 €	-3.161.400,26 €
2	0,00 €	509.787,29 €	509.787,29 €	-2.644.518,03 €	-2.680.876,85 €
3	0,00 €	517.434,10 €	517.434,10 €	-2.134.730,75 €	-2.207.351,35 €
4	0,00 €	525.195,61 €	525.195,61 €	-1.617.296,65 €	-1.740.721,86 €
5	0,00 €	533.073,54 €	533.073,54 €	-1.092.101,04 €	-1.280.887,94 €
6	0,00 €	541.069,64 €	541.069,64 €	-559.027,50 €	-827.750,63 €
7	0,00 €	549.185,69 €	549.185,69 €	-17.957,86 €	-381.212,41 €
8	0,00 €	557.423,47 €	557.423,47 €	531.227,83 €	58.822,83 €
9	0,00 €	565.784,83 €	565.784,83 €	1.088.651,30 €	492.449,79 €
10	0,00 €	574.271,60 €	574.271,60 €	1.654.436,13 €	919.761,79 €
11	0,00 €	582.885,67 €	582.885,67 €	2.228.707,73 €	1.340.850,80 €
12	0,00 €	591.628,96 €	591.628,96 €	2.811.593,40 €	1.755.807,45 €
13	0,00 €	600.503,39 €	600.503,39 €	3.403.222,36 €	2.164.721,04 €
14	0,00 €	609.510,94 €	609.510,94 €	4.003.725,75 €	2.567.679,57 €
15	0,00 €	618.653,61 €	618.653,61 €	4.613.236,69 €	2.964.769,78 €
16	0,00 €	627.933,41 €	627.933,41 €	5.231.890,30 €	3.356.077,12 €
17	0,00 €	637.352,41 €	637.352,41 €	5.859.823,71 €	3.741.685,82 €
18	0,00 €	646.912,70 €	646.912,70 €	6.497.176,12 €	4.121.678,85 €
19	0,00 €	656.616,39 €	656.616,39 €	7.144.088,82 €	4.496.138,00 €
20	0,00 €	666.465,63 €	666.465,63 €	7.800.705,21 €	4.865.143,86 €
21	0,00 €	676.462,62 €	676.462,62 €	8.467.170,84 €	5.228.775,85 €
22	0,00 €	686.609,56 €	686.609,56 €	9.143.633,46 €	5.587.112,23 €
23	0,00 €	696.908,70 €	696.908,70 €	9.830.243,02 €	5.940.230,12 €
24	0,00 €	707.362,33 €	707.362,33 €	10.527.151,72 €	6.288.205,52 €
25	0,00 €	717.972,77 €	717.972,77 €	11.234.514,05 €	6.631.113,31 €
26	0,00 €	728.742,36 €	728.742,36 €	11.952.486,82 €	6.969.027,30 €
27	0,00 €	739.673,49 €	739.673,49 €	12.681.229,18 €	7.302.020,21 €
28	0,00 €	750.768,60 €	750.768,60 €	13.420.902,67 €	7.630.163,71 €

Tabla 21. Análisis económico Eixample. Fuente: Elaboración propia

- Sant Quirze

<i>Periodo</i>	<i>Inversión</i>	<i>Ahorro</i>	<i>Movimiento fondos</i>	<i>Acumulado</i>	<i>VAN</i>
0	808.775,00 €		-808.775,00 €		-808.775,00 €
1	0,00 €	67.385,37 €	67.385,37 €	-741.389,63 €	-743.352,31 €
2	0,00 €	68.396,16 €	68.396,16 €	-674.004,25 €	-678.882,37 €
3	0,00 €	69.422,10 €	69.422,10 €	-605.608,10 €	-615.351,32 €
4	0,00 €	70.463,43 €	70.463,43 €	-536.186,00 €	-552.745,47 €
5	0,00 €	71.520,38 €	71.520,38 €	-465.722,57 €	-491.051,36 €
6	0,00 €	72.593,19 €	72.593,19 €	-394.202,19 €	-430.255,71 €
7	0,00 €	73.682,08 €	73.682,08 €	-321.609,00 €	-370.345,44 €
8	0,00 €	74.787,32 €	74.787,32 €	-247.926,92 €	-311.307,64 €
9	0,00 €	75.909,12 €	75.909,12 €	-173.139,60 €	-253.129,62 €
10	0,00 €	77.047,76 €	77.047,76 €	-97.230,48 €	-195.798,85 €
11	0,00 €	78.203,48 €	78.203,48 €	-20.182,72 €	-139.302,99 €
12	0,00 €	79.376,53 €	79.376,53 €	58.020,76 €	-83.629,89 €
13	0,00 €	80.567,18 €	80.567,18 €	137.397,29 €	-28.767,56 €
14	0,00 €	81.775,69 €	81.775,69 €	217.964,47 €	25.295,80 €
15	0,00 €	83.002,32 €	83.002,32 €	299.740,16 €	78.571,83 €
16	0,00 €	84.247,36 €	84.247,36 €	382.742,48 €	131.072,00 €
17	0,00 €	85.511,07 €	85.511,07 €	466.989,83 €	182.807,60 €
18	0,00 €	86.793,73 €	86.793,73 €	552.500,90 €	233.789,77 €
19	0,00 €	88.095,64 €	88.095,64 €	639.294,63 €	284.029,48 €
20	0,00 €	89.417,07 €	89.417,07 €	727.390,27 €	333.537,55 €
21	0,00 €	90.758,33 €	90.758,33 €	816.807,34 €	382.324,62 €
22	0,00 €	92.119,70 €	92.119,70 €	907.565,67 €	430.401,21 €
23	0,00 €	93.501,50 €	93.501,50 €	999.685,38 €	477.777,64 €
24	0,00 €	94.904,02 €	94.904,02 €	1.093.186,88 €	524.464,13 €
25	0,00 €	96.327,58 €	96.327,58 €	1.188.090,90 €	570.470,72 €
26	0,00 €	97.772,50 €	97.772,50 €	1.284.418,48 €	615.807,32 €
27	0,00 €	99.239,08 €	99.239,08 €	1.382.190,98 €	660.483,67 €
28	0,00 €	100.727,67 €	100.727,67 €	1.481.430,06 €	704.509,39 €

Tabla 22. Análisis económico Sant Quirze. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en las tablas 20,21 y 22, todos los proyectos serían viables a nivel económico. El barrio de Can Ros vería un retorno de la inversión pasados 11 años, la isla de l'Eixample tendría una tasa de retorno de 8 años y el barrio unifamiliar de Sant Quirze vería números positivos pasados 14 años. Cabe recalcar que la envergadura, la inversión inicial, de cada proyecto difiere bastante en cantidad de un caso a otro.

7 Conclusiones

7.1 Conclusiones generales

El objeto principal de este trabajo ha sido estudiar la relación entre la morfología y densidad de un tejido urbano y su potencial solar. Se han definido unas pautas operativas, dirigidas hacia la optimización de las capacidades de cada uno de los casos. Por un lado, se han establecido los elementos físicos y sus limitaciones y por otro lado se han definido los cálculos sobre los que se ha basado el dimensionado.

La investigación se ha llevado a cabo a través de la morfología y potencial solar de tres situaciones urbanas reales. El tejido urbano se ha limitado, tanto desde el punto de vista conceptual como desde el operativo, a la extensión que mejor respondía a la exigencia de convertir la investigación teórica en aplicación práctica.

El comportamiento de un tejido urbano con respecto a la incidencia solar depende en gran parte de lo que lo envuelve, es por esto por lo que se han modelado también los edificios que rodean al tejido que se ha estudiado.

Los casos que se han estudiado en este trabajo (todos dentro del Área Metropolitana de Barcelona) han reflejado que, para el clima característico de esta región, las cubiertas serían las superficies más rentables. Sin embargo, se ha podido observar que en la mayoría de las fachadas (las que están bien orientadas) sería completamente viable la instalación de un campo fotovoltaico. Por esta razón se concluye que se debería estudiar la energía embebida de estas fachadas en más detalle (asociándola también a la rehabilitación) para ver si las fachadas que están orientadas alrededor del sur podrían llegar a ser más rentables energéticamente hablando que las cubiertas.

Entrando más en detalle y comparando los barrios plurifamiliares, el más rentable energéticamente hablando es el menos denso y poblado (Can Ros) ya que su balance energético acaba saliendo con el CO₂ más negativo. Sin embargo, los dos son rentables tanto a nivel energético como económico (viendo Can Ros un VAN positivo en el año 11 y l'Eixample en el 8).

Con respecto al barrio unifamiliar (Sant Quirze) este es el más rentable de los tres a nivel energético, pero se vería comprometida su rentabilidad social ya que, solo 27 viviendas se verían favorecidas por el privilegio de la instalación fotovoltaica lo cual es un factor que se debería tener en cuenta.

En términos de producción, Sant Quirze produce, en kWh/vivienda año, un 425% más que Can Ros y un 534% más que l'Eixample. En kWh/m²construido año Sant Quirze produce un 187% más que Can Ros y un 291% más que l'Eixample.

En definitiva, el barrio unifamiliar es el más rentable a nivel energético con bastante diferencia si no se tiene en cuenta el factor de mejora social y de calidad de vida en cuanto a número de habitantes del barrio.

7.2 Líneas futuras de investigación

En escenarios futuros se podrían tener en consideración las siguientes cuestiones:

- Se debería estudiar un método para dividir las mallas que recubren las superficies para estudiar la radiación incidente en cada superficie por secciones y poder hacer una criba más detallada.
- Se podría ampliar el estudio con más casos tales como viviendas unifamiliares o plurifamiliares en entornos rurales, o casos con diferentes orientaciones para así observar con más profundidad la importancia de las obstrucciones y la orientación.
- A la hora de hacer la comparación con el consumo este debería estudiarse de un edificio ya rehabilitado para poder tener los datos en otro escenario, en el que la demanda se ve reducida, de media, en un 60%-80%.
- Finalmente, en líneas futuras se podrían considerar diferentes escenarios para la energía sobrante (almacenaje en baterías).

8 Bibliografía

1. NACIONES UNIDAS Cumbre sobre la Acción Climática 2019. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.un.org/es/climatechange/cities-pollution.shtml>.
2. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. i Pout, C. A review on buildings energy consumption information. A: [en línea]. DOI 10.1016/j.enbuild.2007.03.007. Disponible a: www.elsevier.com/locate/enbuildEnergyandBuildings40.
3. Gelman, R. 2010 Renewable Energy Data Book (Book), Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE). A: . 2010.
4. Statistical Review of World Energy | Energy economics | Home. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
5. Renewable energy statistics 2020. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.irena.org/publications/2020/Jul/Renewable-energy-statistics-2020>.
6. La eficiencia energética | Fichas temáticas sobre la Unión Europea | Parlamento Europeo. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/69/la-eficiencia-energetica>.
7. (No Title). A: [en línea]. Disponible a: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:es:PDF>.
8. EUR-Lex - 32017R1369 - EN - EUR-Lex. A: [en línea]. Disponible a: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1369>.
9. NZEB: Qué es y que no es un Edificio de Consumo Casi Nulo | DEXMA. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.dexma.com/es/blog/que-son-los-edificios-nzeb-y-como-contribuyen-el-desarrollo-sostenible/>.
10. (No Title). A: [en línea]. Disponible a: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/133851/conama_2018_urbanzeb.pdf.
11. urbanZEB. A: [en línea]. Disponible a: <http://urbanzeb.com/>.
12. Panel fotovoltaico - Wikipedia, la enciclopedia libre. A: [en línea]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico.
13. Corriente alterna vs corriente continua. A: [en línea]. Disponible a: <http://www.laenergiadelcambio.com/corriente-alterna-vs-corriente-continua/>.
14. Modulo solar Amerisolar 210W 72 celulas 37V Mono. A: [en línea]. Disponible a: <https://solarmat.es/es/placas-solares/modulo-solar-amerisolar-210w-72-celulas-37v-mono.html>.
15. Paneles solares especiales. Semitransparentes, barcos, caravanas... A: [en línea]. Disponible a: <https://suministrosdelsol.com/es/143-paneles-solares-especiales?q=Tipo+de+Módulo-Monocristalino>.
16. Comparamos los inversores más populares del mercado. A: [en línea]. Disponible a:

<https://www.cambioenergetico.com/blog/comparativa-de-inversores-fotovoltaicos-para-autoconsumo-en-vivienda-actualizado-2019/>.

17. La energía embebida y su importancia en la construcción sostenible | Innovación | Argos Colombia. A: [en línea]. Disponible a: <https://colombia.argos.co/Acerca-de-Argos/Innovacion/La-energia-embebida-y-su-importancia>.

18. Embodied Energy and Carbon | Institution of Civil Engineers. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.ice.org.uk/knowledge-and-resources/briefing-sheet/embodied-energy-and-carbon>.

19. Tasa de retorno energético - Wikipedia, la enciclopedia libre. A: [en línea]. Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_de_retorno_energético.

20. eroei.com. A: [en línea]. Disponible a: [http://ww38.eroei.com/pdf/Energy and the U.S. Economy- A Biophysical Perspective.pdf](http://ww38.eroei.com/pdf/Energy%20and%20the%20U.S.%20Economy-%20A%20Biophysical%20Perspective.pdf).

21. Tilting at Windmills, Spain's disastrous attempt to replace fossil fuels with Solar PV, Part 1 | Peak Energy & Resources, Climate Change, and the Preservation of Knowledge. A: [en línea]. Disponible a: <http://energyskeptic.com/2015/tilting-at-windmills-spains-solar-pv/>.

22. (No Title). A: [en línea]. Disponible a: https://ddd.uab.cat/pub/artpub/2018/196596/natene_a2018v3p334.pdf.

23. EROI of different fuels and the implications for society - ScienceDirect. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513003856>.

24. Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation: A comprehensive response - ScienceDirect. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516307066>.

25. Sede Electrónica del Catastro - Inicio. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.sedecatastro.gob.es/>.

26. (No Title). A: [en línea]. Disponible a: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/106520/21790210X_Trabajo_15308153330007985563568234754430.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

27. Fotovoltaica en Viviendas Unifamiliares - Seingenia. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.seingenia.es/fotovoltaica-en-viviendas-unifamiliares/>.

28. Valoración Proyecto de Inversión - IFRI. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.ifri.es/valoracion-proyecto-de-inversion/>.

29. Banco de España - Tasas de descuento. A: [en línea]. Disponible a: <https://www.bde.es/app/sif/es/publicacion/descuento/2017-03.html>.